

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –  
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**  
**Strojní fakulta**  
Katedra aplikované mechaniky

**Výpočet zastřešení přemístitelné čerpací stanice**  
**Roofing Calculation of Relocatable Petrol Station**  
bakalářská práce

**Autor:**

Michal Krmášek

**Vedoucí bakalářské práce:**

Ing. Zdeněk Poruba, Ph.D.

Ostrava 2014

## Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Krmášek**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 3901R003 Aplikovaná mechanika  
Téma: **Výpočet zastřešení přemístitelné čerpací stanice**  
**Roofing Calculation of Relocatable Petrol Station**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Proveďte shrnutí základních parametrů při zatížení ocelových konstrukcí sněhem a větrem dle ČSN EN 1991-1-3 a ČSN EN 1991-1-4.
2. Vytvořte vhodné geometrické modely zastřešení vybraného typu čerpací stanice s ohledem na její pevnostní kontrolu metodou konečných prvků.
3. Metodou konečných prvků proveďte pevnostní kontrolu zastřešení vybraného typu čerpací stanice vč. uvažování zatížení dle ČSN EN 1991-1-3 a ČSN EN 1991-1-4.
4. Navrhněte a proveďte vhodné úpravy za účelem optimalizace konstrukce střechy s cílem úspory materiálu či nepřekročení dovolených maxim mechanických hodnot.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KOLÁŘ, Vladimír, Viktor KANICKÝ a Ivan NĚMEC. *FEM Principy a praxe metody konečných prvků*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 1997, 401 s. ISBN 80-722-6021-9.
- [2] COOK, Robert D, Viktor KANICKÝ a Ivan NĚMEC. *Finite element modeling for stress analysis*. Vyd. 1. Hong Kong: John Wiley, 1995, 320 s. ISBN 04-711-0774-3.
- [3] *ANSYS® Academic Teaching Advanced, Release 14.5, help system, ANSYS, Inc.*
- [4] *Norma ČSN EN 1991-1-3 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*
- [5] *Norma ČSN EN 1991-1-4 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Poruba, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Radim Halama, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Prohlášení

Celou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16. 5. 2016

.....  
podpis autora  
Michal Krmášek

**Anotace:**

Předmětem bakalářské práce je provedení statické analýzy a optimalizace zastřešení přemístitelné čerpací stanice v rozsahu zvoleném vedoucím práce. Případná kontrola zvedání střechy jeřábem. Veškeré výpočty budu počítat metodou konečných prvků, které budou provedeny v softwaru ANSYS Workbench 16.0. Statická analýza a optimalizace je provedena pro dva zatěžovací stavy kvůli větru. A zvedání jeřábem pouze pro jeden zatěžný stav. Konstrukci jsem navrhoval tak, abych se zbavil přebytečné hmoty.

**Summary:**

The subject of the bachelor thesis is to perform static analysis and optimization roofing portable pumping station within the range of the selected supervisor. A possible controle of the roof lifting by crane. All the cancellation will done by the method finite elemment method by using the software ANSYS Workbench 16.0. Static analysis and optimization is done for two load cases due to wind. Crane lifting is done only for one load case. I proposed the structure to get rid of the excess materials.

# Obsah

Seznam odborných termínů .....	7
1. Úvod.....	8
2. Statická kontrola .....	9
2.1 Původní model.....	9
2.2 Tvorba geometrie.....	10
2.2.1 Změny oproti původnímu modelu .....	10
2.2.2 Vlastní tvorba modelu .....	10
2.3 Materiál .....	16
2.4 Konečno prvková síť.....	17
2.5 Norma sněhem - ČSN EN1991-1-3 .....	19
2.5.1 Volba koeficientu $S_k$ (Charakteristická hodnota zatížení sněhem).....	19
2.5.2 Volba koeficientu $C_t$ (tepelný součinitel).....	20
2.5.3 Volba koeficientu $C_e$ (součinitel expozice) .....	20
2.5.4 Volba koeficientu $\mu_i$ (tvarový součinitel zatížení sněhem) .....	20
2.5.5 Výpočet zatížení dané střechy .....	22
2.6 Norma větrem - ČSN EN 1991-1-4.....	23
2.6.1 základní hodnoty .....	23
2.6.2 Střední rychlost větru .....	24
2.6.3 turbulence větru .....	25
2.6.4 Maximální dynamický tlak .....	25
2.6.5 Působení větru v podélném směru .....	25
2.6.6 Působení větru v příčném směru.....	27
2.7 Počáteční podmínky.....	27
2.7.1 Kontakty .....	27
2.7.2 Uchycení.....	29
2.7.3 Zatížení .....	29

2.8 Výsledky .....	33
2.8.1 Účinky jednotlivých zatížení .....	33
2.8.2 Deformace .....	37
2.8.3 Osové napětí .....	39
2.8.4 Kombinované napětí – maximální .....	40
2.8.5 Kombinace napětí – minimální .....	41
2.8.6 Zhodnocení výsledků .....	43
3. Optimalizace střechy .....	43
3.1 Změny v modelu .....	44
3.2 Výsledky .....	46
3.3 Zhodnocení výsledků .....	48
4. Statická kontrola při montování .....	49
4.1 Změny modelu .....	49
4.2 Počáteční podmínky .....	49
4.2 Výsledky .....	50
5. Závěr .....	52
SEZNAM ROVNIC .....	53
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	54
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	54
SEZNAM TABULEK .....	57
SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE .....	57
SEZNAM PŘÍLOH .....	57

## Seznam odborných termínů

Atika	dekorativní architektonická prvek.
Element	nejmenší prvek, který je tvořen uzly v metodě konečných prvků.
Face meshing	funkce na úpravu konečno prvkové sítě.
I nosník	nosník, který má průřez ve tvaru I.
Izotropní materiál	materiál, který má mechanické a teplotní vlastnosti ve všech směrech stejné.
Kritické místo	je to místo, kde se materiál nejpravděpodobněji poruší.
Nahodilé zatížení	je to zatížení, které se v čase mění a my nejsme schopni s jistotou určit jak velké bude.
Osové napětí	prostý tlak nebo prostí tah.
Plochá střecha	střecha, která má sklon střechy do 5%
Průměr	vzdálenost okraje kruhového oblouku nebo kruhu do jeho středu.
Pultová střecha	taková střecha, která má sklon jen na jednu stranu
Trapézový plech	druh plechu, který je ohýbán v určitém profilu.
Tuhý nosník	nosník, Který se oproti okolní konstrukci nebude deformovat.
Uzel	nejmenší prvek v metodě konečných prvků.
Zatížení	fyzikální vliv, které vyvolává v konstrukci napětí, přetváří ji nebo s ní pohybuje.

# 1. Úvod

Předmětem bakalářské práce je provést výpočet a optimalizace zastřešení přemístitelné čerpací stanice. Dále pak statický výpočet částí střešní konstrukce při zvedání jeřábem. Výpočet provedu v počítačovém softwaru – Ansys, který pracuje na metodě konečných prvků (anglicky FEM = finite element method). Cíl bakalářské práce je:

- statický výpočet nosníkových prvků zastřešení přemístitelné čerpací stanice.
- základní seznámení s normy ČSN EN 1991-1-3 A ČSN EN 1991-1-4.
- Optimalizace konstrukce střechy s cílem úspory materiálu či nepřekročení dovolených maxim mechanických hodnot.

V první části práce je kompletní výpočet zastřešení přemístitelné čerpací stanice. Tento výpočet jsem rozdělil do několika kapitol. První kapitola slouží k popsání původního modelu. Druhá kapitola slouží k sestavení výpočtového modelu a jeho vysvětlení. Třetí kapitola říká z čeho je model vyroben. Čtvrtá kapitola je konečno prvková síť (mesh). V páté kapitole se zabývám sněhovou normou, jejími koeficienty a výsledným zatížením. V šesté kapitole se zabývám větrnou normou, jejími koeficienty, zátěžnými stavy a výsledným zatížením. Sedmá kapitola je za účelem objasnění, jak jsem ukotvil střešní konstrukci, přesné hodnoty zátěžných sil. Osmá a devátá kapitole zobrazují a vyhodnocují výsledky.

V druhé části práce se zabývám optimalizací střešní konstrukce a hledám nejlepší řešení pro zlehčení konstrukce tak, aby nikde nepřesáhla minimální mez únavy materiálu.

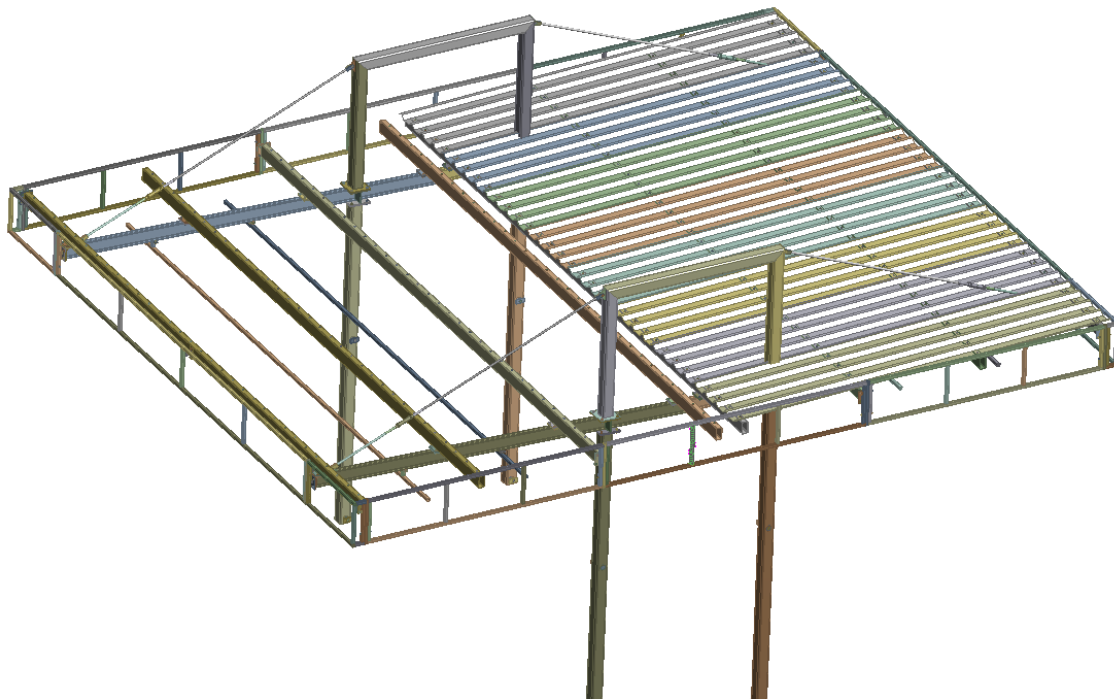
Ve třetí části práce zkoumám, jak by šlo zvednout část střechy za účelem jednodušší montáže, která by se prováděla na zemi.



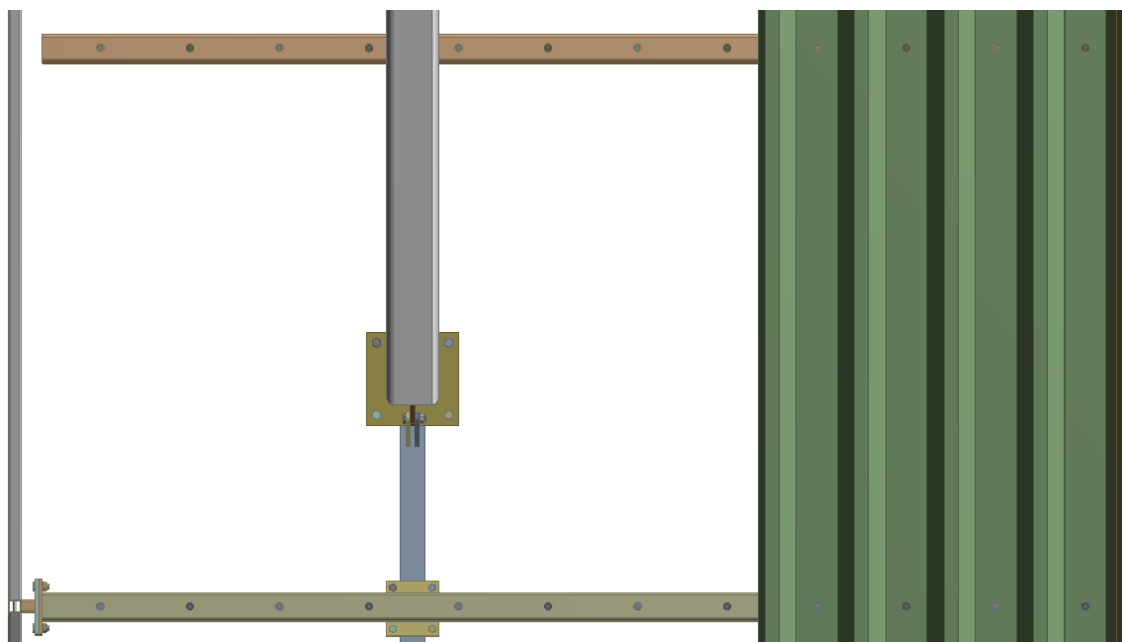
## 2. Statická kontrola

### 2.1 Původní model

Model, který jsem dostal od firmy Petrocard, je tvořen složitými prvky pro výpočet. Model je spojen jen šroubovými prvky.



*Obr. 2.1 geometrický model od firmy*



*Obr. 2.2 obrázek šroubových spojů*

## 2.2 Tvorba geometrie

Pro zjednodušení výpočtu jsem se rozhodl udělat celý model znovu, ale jen z nosníků a skořepin. A jak jde vidět z předchozích obrázků model je symetrický ve dvou rovinách. Díky tomu můžu modelovat jen pouhou čtvrtinu modelu a to pak 2x zrcadlit. Pro výpočet jsem nemohl použít pouze čtvrtinu modelu, protože zatížení větrem bych pak nebyl schopen udělat.

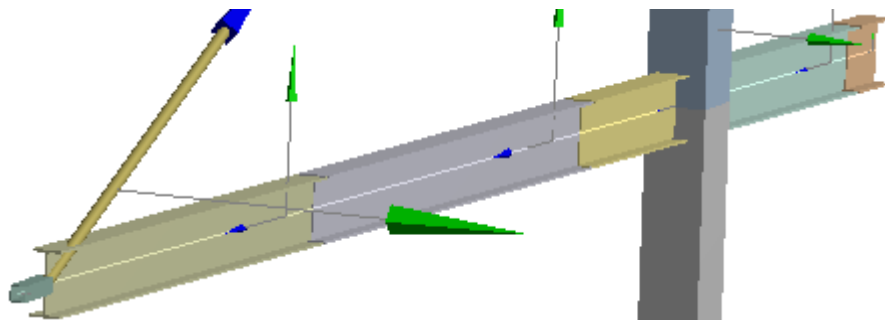
### 2.2.1 Změny oproti původnímu modelu

Oproti původnímu modelu jsem udělal všechny spoje svarové a ne šroubové. Díky této změně se o hodně urychlí výpočet. Tato úprava sice v sobě nese určitou chybu, ale ta chyba je tak malá, si můžeme dovolit ji ignorovat. Další velká změna v modelu je taková, že jsem neudělal trapézový plech, ale jen obyčejný plech. Z důvodu, aby na konstrukci plech působil stejnou váhou, jsem musel výpočtem zjistit, jakou má mít tloušťku.

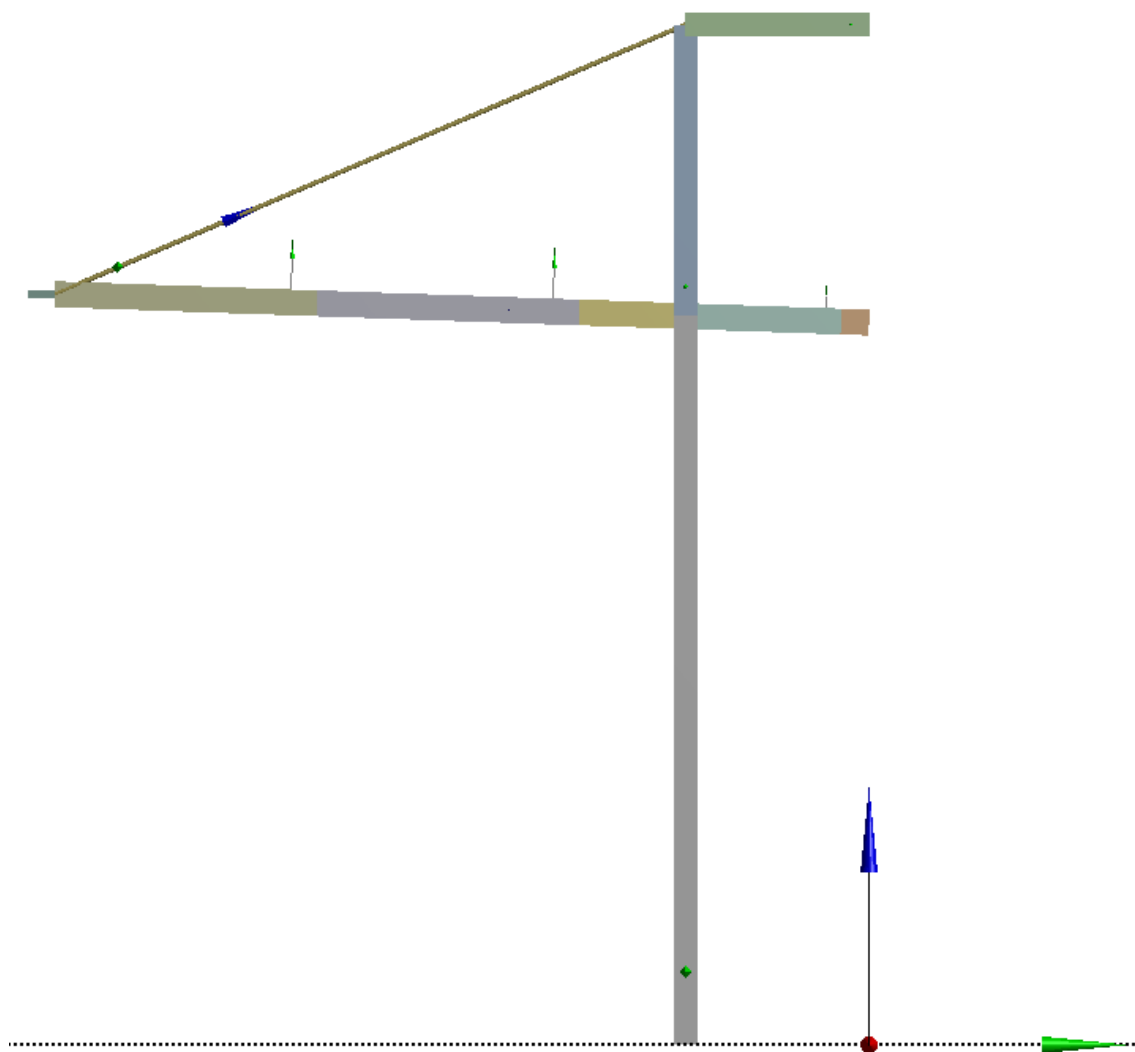
$$V_t = S_D * t_D \Rightarrow t_D = \frac{V_t}{S_D} \Rightarrow t_D = \frac{0,0407}{44,31} = 0,00092 \text{ m} = 0,92 \text{ mm} \quad (1)$$

### 2.2.2 Vlastní tvorba modelu

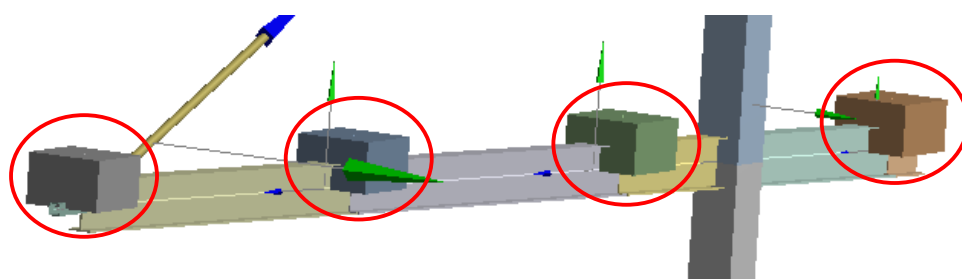
Potom co jsem si zjistil všechny rozměry, které jsem potřebovat a udělal jsem si na papíře plánovaný postup, tak jsem začal s tvorbou modelu i na počítači. Protože dělám převážně nosníkový model, tak všechny nosníky tvořím pouze z čar, které představují ideální střednice daných nosníků. A těm čarám poté přiděluji materiál a průřez. První jsem si vymodeloval nosný rám i s I nosníkem. I nosník jsem hned rozdělil na několik částí, abych potom neměl problém další nosníky na něj napojit a vytvořit s nimi pevný svarový spoj. Poté jsem konec I nosník spojil s rohem rámu pomocí tyče.



Obr. 2.3 I nosník na rámu



*Obr. 2.4 nosný rám konstrukce*



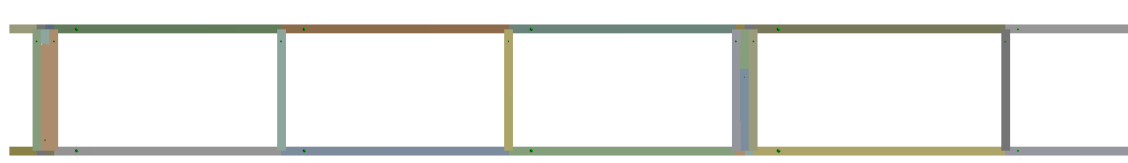
*Obr. 2.5 detail na tuhé nosníky*

Jako další část modelu jsem dělal atiku. Celou atiku jsem rozdělil do dvou atik. První příčnou a druhou podélnou. Obě části atiky jsou tvořeny čtvercovými trubky. Příčná atika je ta kratší. Postupuji stejným způsobem jako u nosného rámu. Na pravé straně se bude příčná atika spojovat s podélnou.



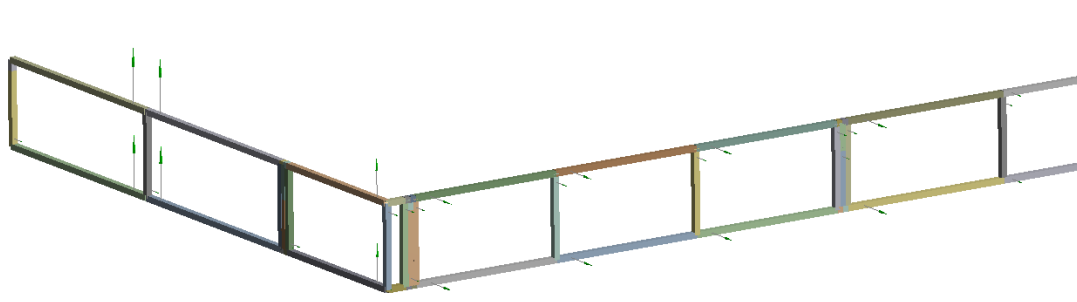
*Obr. 2.6 příčná atika*

Podélná atika je delší a má i více spojů s okolní konstrukcí. Spoj s okolní konstrukcí jsou provedeny jen tam, kde jsou tři svislé trubky hned vedle sebe. Tam ta prostřední je spojena s nosníkem na konstrukci. Na levé straně není svislá trubka, protože ten konec se bude napojovat na příčnou atiku a tam už udělaná je.



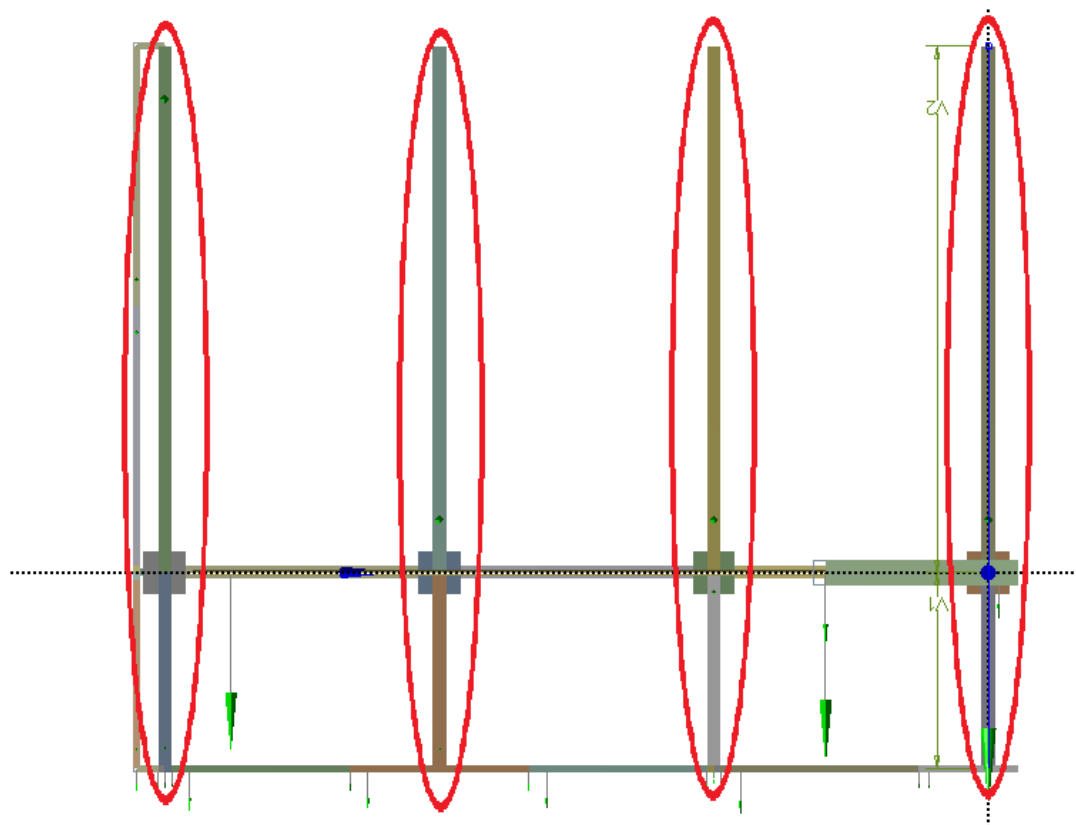
*Obr. 2.7 podélná atika*

Spojené obě atiky budou vypadat následovně.



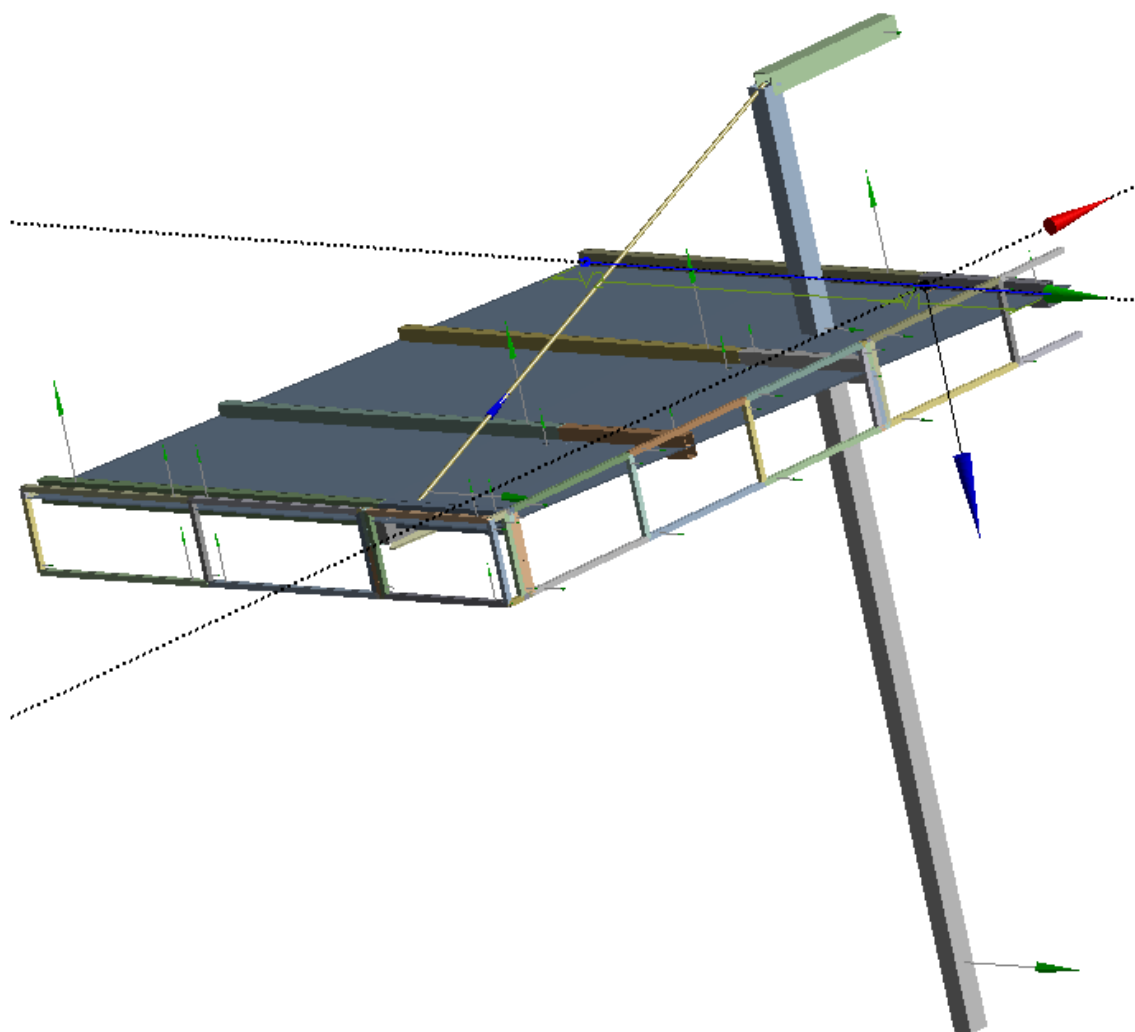
*Obr. 2.8 atika*

Jako další část modelu jsem udělal zbývající nosníky. Pro každý nosník jsem vytvořil pomocný lokální souřadnicový systém pomocí, kterého jsem určil přesnou polohu daného nosníku. Tento nosník je obdélníkového průřezu.



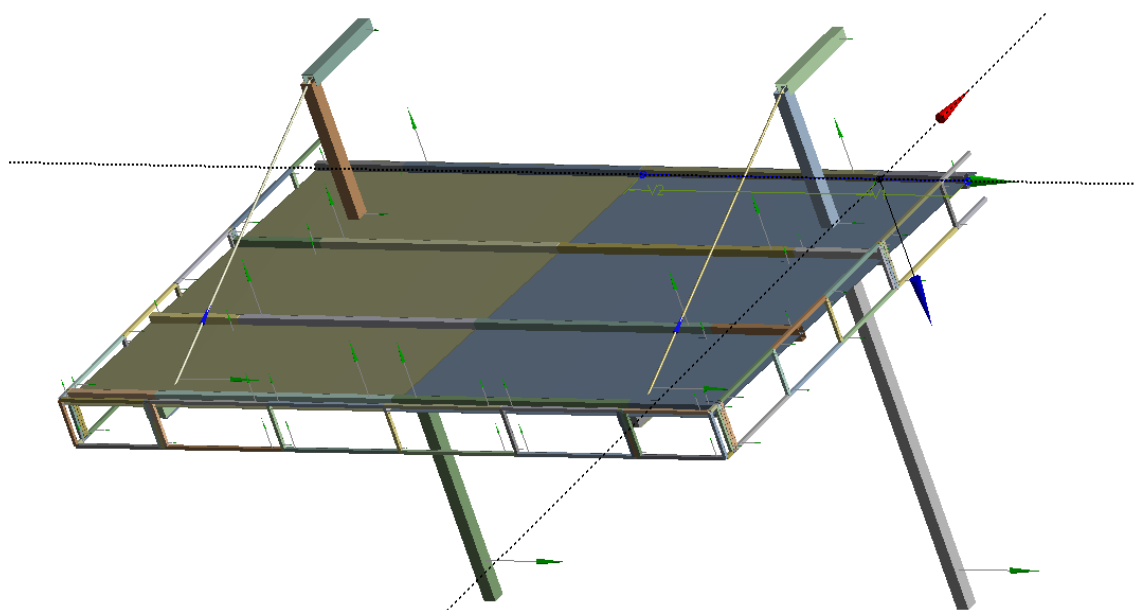
*Obr. 2.9 nosníky z hora*

Dále jsem pokračoval s tvorbou skořepinové desky sloužící k přenesení zatížení od sněhu. Desku jsem oproti reálu snížil do střednice nosníků, místo aby byla na okraji průřezu, kde ve skutečnosti bude. Tímto krokem jsem si ušetřil další pomocné nosníky, ale pro výpočet daného rozsahu tento krok nemá žádný vliv.



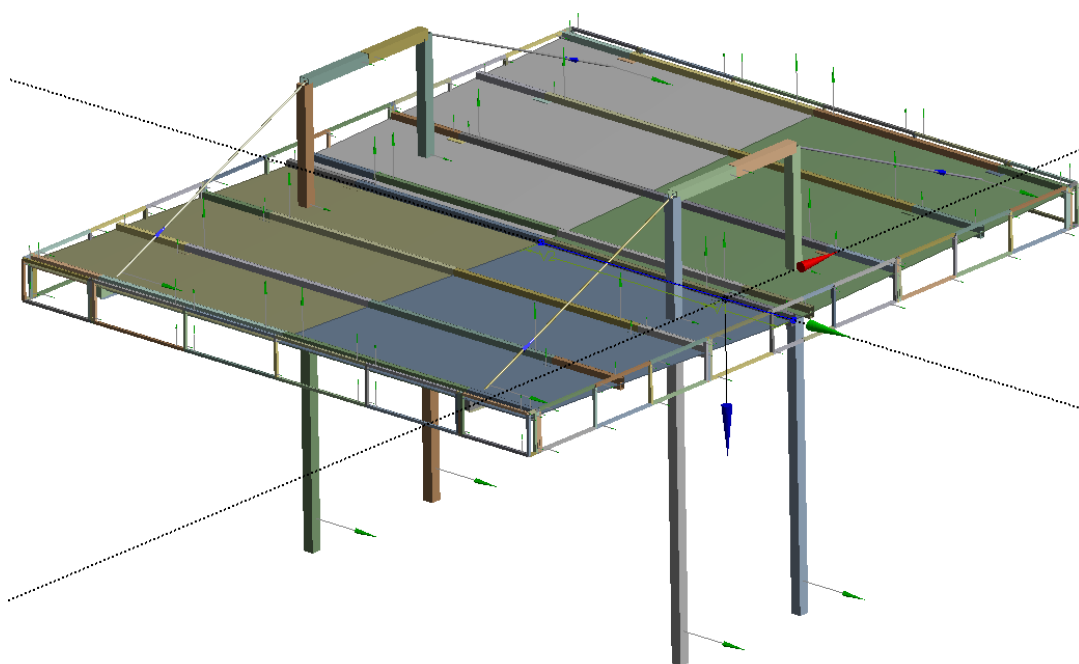
*Obr. 2.10 deska na sních*

Jak jsem měl model v tomto stavu tak jsem začal zrcadlit model tak, že se příčná atika dostala do finální podoby.



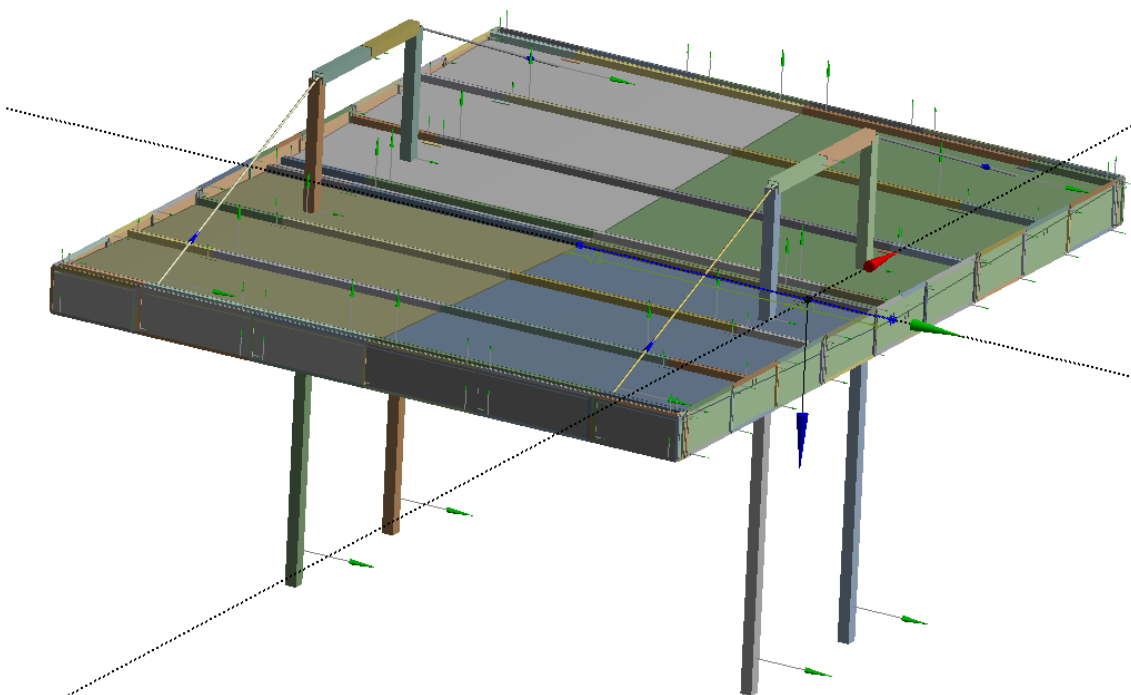
*Obr. 2.11 model po jednom zrcadlení*

Poté jsem tuto polovinu modelu znovu zrcadlil, ale tentokrát tak, aby podélná atika byla ve finální podobě.



*Obr. 2.12 model bez desek na vítr*

Aktuálně mi na modelu chyby udělat už jen čtyři desky, které budou přenášet zatížení způsobené větrem na nosníkovou konstrukci. Tyto desky jsem jako jediné vytvořil jiným způsobem než předešlé části modelu. Tyto desky jsem vytvořil díky jedné vestavěné funkci, která dělá, že když vyberu uzavřený obrys klidně i z několika čar. Tak v ploše ohraničenou těmito čarami vytvoří desku.



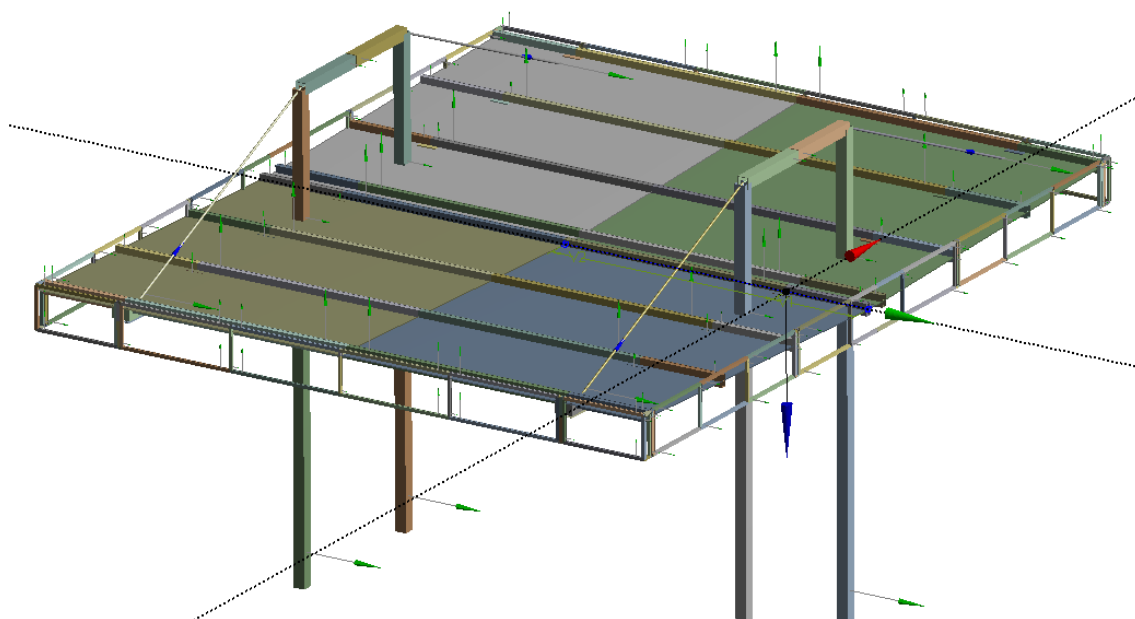
*Obr. 2.13 geometrický model*

## 2.3 Materiál

Model je tvořen ze dvou materiálů ocel a hliník. Z hliníku jsou tvořeny pouze desky, které přenášejí zatížení větru. Z tohoto důvodu jsem hliník dále nespecifikoval. Zato z oceli je celý zbytek konstrukce. Značka oceli podle EN 10025-2 je: S 235, která je použita na výrobu této střešní konstrukce. V normě ČSN P EVN 1991-1 se stálé zatížení (vlastní tíha) násobí dílčím součinitelem zatížení (pro stálé zatížení), který má hodnotu 1,35. Tento součinitel se přidává do výpočtu, protože nejsme schopni zajistit, že materiál v sobě neponese žádnou chybu (např. mikro trhliny, nedokonalý povrch, nečistoty...). Z tohoto důvodu do modelu zadávám hustotu o 35% větší než je skutečná.

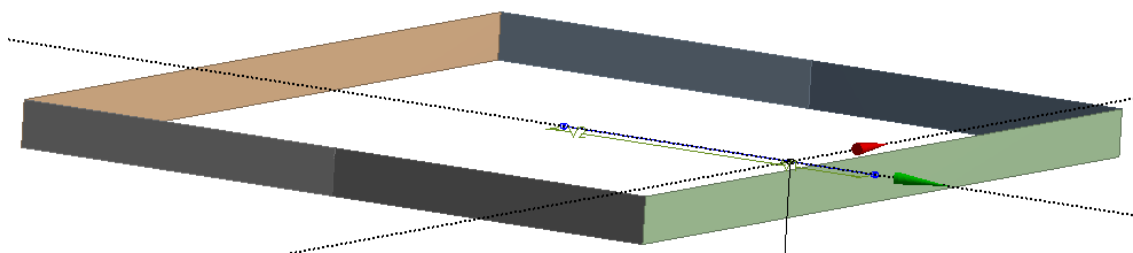
Ocel S235:	-Modul pružnosti	210 000 MPa
	-Poissonové číslo	0,3
	-Skutečná hustota	7 850 kg/m <sup>3</sup>
	-Hustota (model)	10 597,5 kg/m <sup>3</sup>

Hliník:	-Modul pružnosti	70 000 MPa
	-Poissonové číslo	0,31
	-Skutečná hustota	2 700 kg/m <sup>3</sup>
	-Hustota (model)	3 645 kg/m <sup>3</sup>



Obr. 2.14 ocelová konstrukce

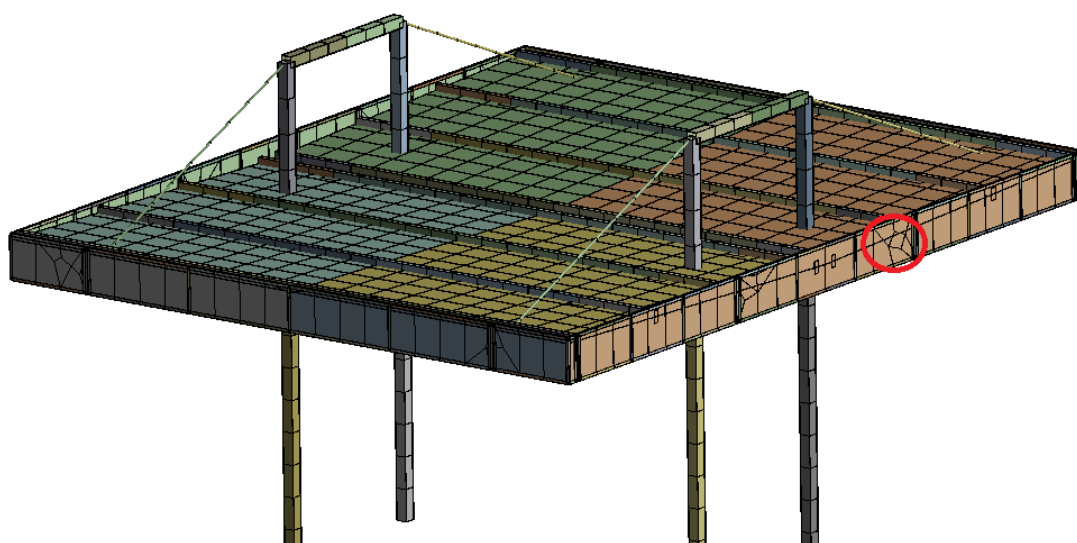




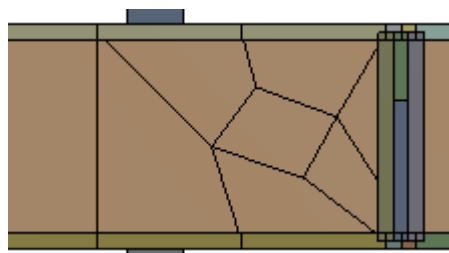
*Obr. 2.15 hliníková konstrukce*

## 2.4 Konečno prvková síť

Ze začátku jsem si nechal vygenerovat automatickou síť, abych se podíval, jak vypadá. Po vygenerování jsem zjistil, že v některých deskách je síť nepravidelná a tím pádem velmi špatná (viz obr. 2.16 a Obr. 2.17). Nosníky jsem dal do jednoho partu, takže síť mezi nosníky je na pevně spojená. Ale síť na deskách není závislá na síti od nosníků, z toho důvodu je pak nutné ji nějak spojit (viz. Kontakty).

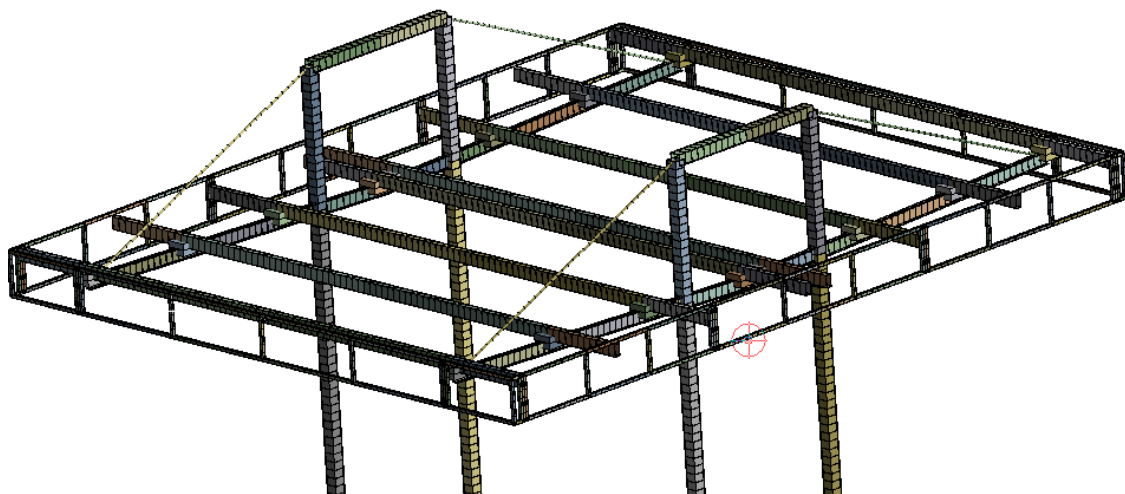


*Obr. 2.16 automatická síť*

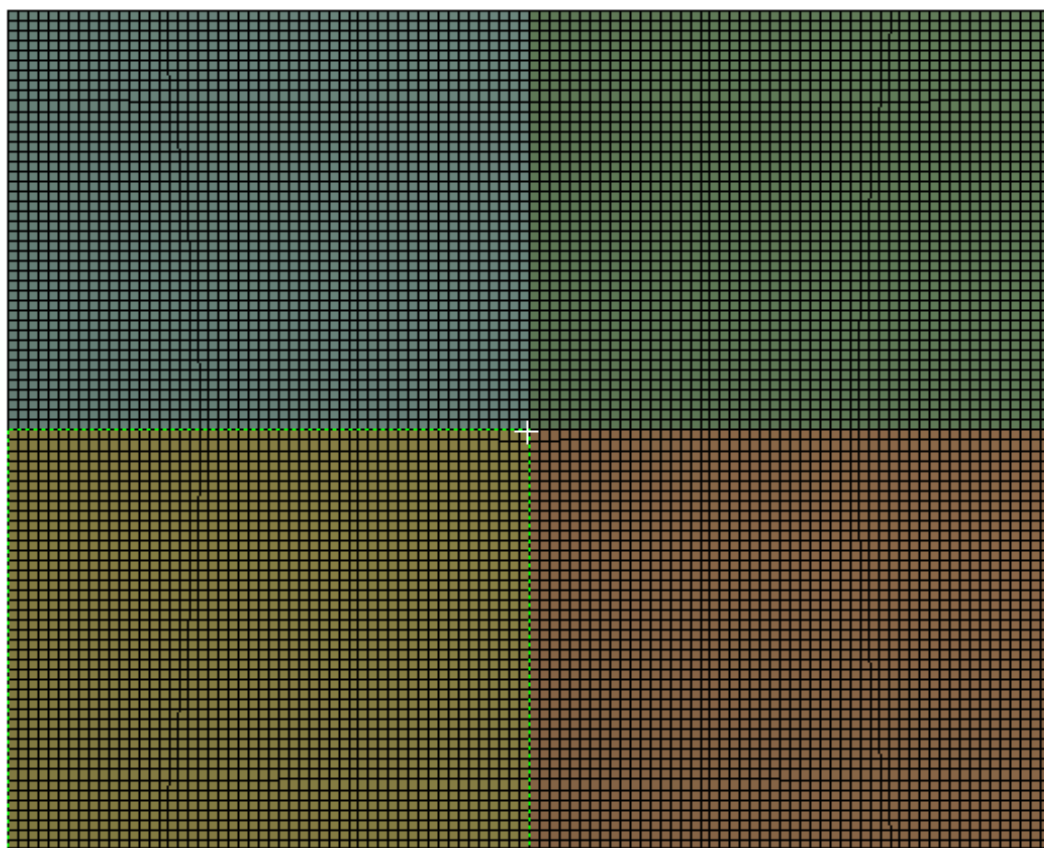


*Obr. 2.17 detail chyby sítě*

Aby síť byla pravidelná tak jsem na všech deskách použil „face meshing“ a hned jsem taky přidal hustotu sítě všude na konstrukci. Hustotu sítě jsem upravoval s vědomím, že nosník je celkem přesný i při menších počtech uzlů. Proto jsem pro celou konstrukci nastavil síť tak, aby byl vždy uzel zhruba po 100 mm. Tím že kontroluju jen nosníky a ne desky, tak budu mít relativně přesné výsledky.



*Obr. 2.18 síť na nosnících*



*Obr. 2.19 síť na deskách*

Po těchto úpravách mám v modelu celkem 16581 uzlů a 13596 elementů.

## 2.5 Norma sněhem - ČSN EN1991-1-3

Slouží pro určení zatížení sněhem, které s největší pravděpodobností nepřekročí. Ale přesto navrhovaná konstrukce takové zatížení musí unést. Zatížení sněhem pro trvalé návrhové situace se vypočítá pomocí této rovnice:

$$S = \mu_i * C_e * C_t * S_k \quad (2)$$

$S$  „zatížení sněhem na střeše“ [kPa] (1)

$\mu_i$  „tvarový součinitel zatížení sněhem“ (1)

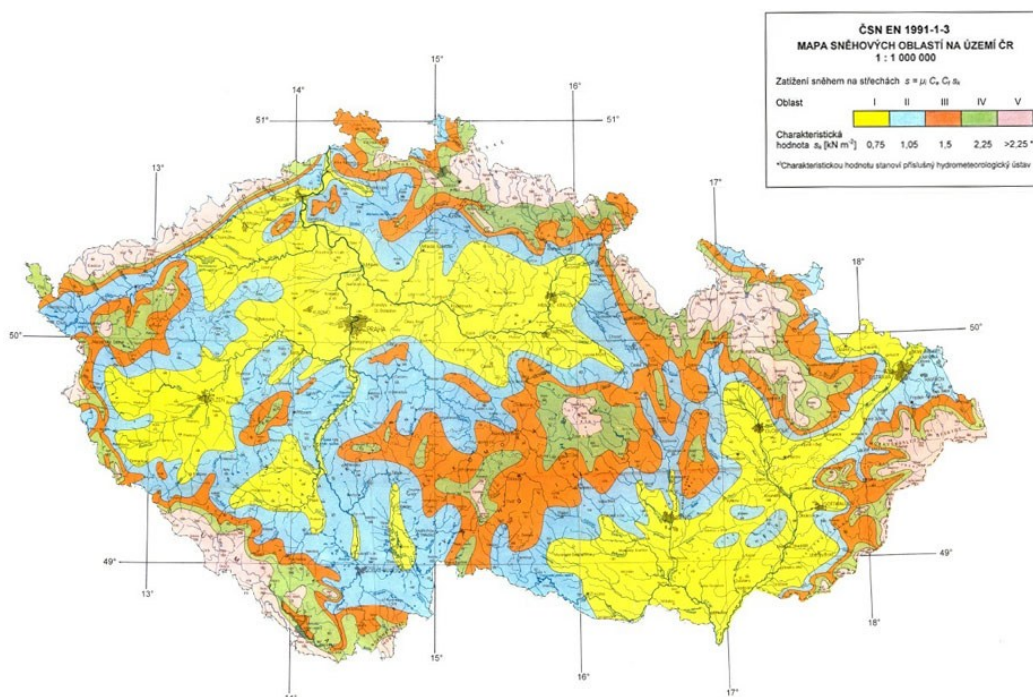
$C_e$  „součinitel expozice“ (1)

$C_t$  „tepelný součinitel“ (1)

$S_k$  „charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi“ [kPa] (1)

### 2.5.1 Volba koeficientu $S_k$ (Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi)

Na území České Republiky rozlišujeme 5 oblastí (viz Obr. 2.20). Charakteristickou hodnotu stanoví příslušný hydrometeorologický ústav. Tuto hodnotu ovlivňuje převážně maximální tíha sněhu v dané oblasti za určitou dobu.



Obr. 2.20 Mapa sněhových oblastí na území České Republiky (1)

TAB. 1 - Sněhové oblasti

Oblast	I	II	III	IV	V
$S_k$ [kPa]	0,75	1	1,5	2,25	>2,25

Vzhledem k požadavkům na umístění a následní provoz čerpací stanice volím sněhovou oblast III  $\rightarrow S_k = 1,5$  kPa.

### 2.5.2 Volba koeficientu $C_t$ (tepelný součinitel)

Tepelný součinitel není roven jedné jen tehdy, kdy je zaručené tání sněhu z důvodů prostupu tepla střechou. Pro můj případ je  $C_t$  roven jedné.

### 2.5.3 Volba koeficientu $C_e$ (součinitel expozice)

Závisí na tom, jestli sníh na střechách může být odfouknut nebo tomu něco brání

TAB. 2 - Doporučené hodnoty součinitele  $C_e$  pro různé typy krajiny

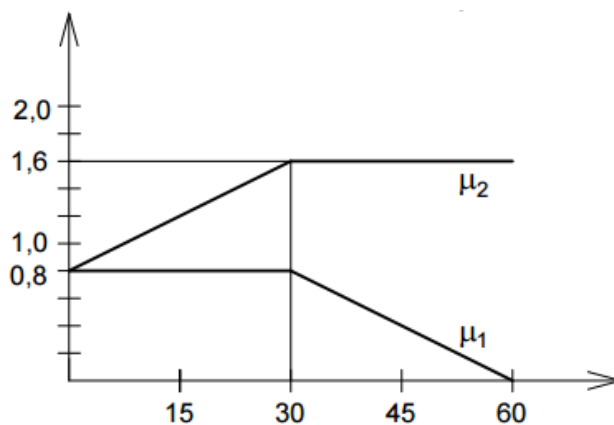
Typ krajiny	$C_e$
otevřená <sup>a)</sup>	0,8
normální <sup>b)</sup>	1
chráněná <sup>c)</sup>	1,2

a) Otevřený typ krajiny: rovná plocha bez překážek, otevřená do všech stran, nechráněná nebo jen málo chráněná terénem, vyššími stavbami nebo stromy.  
b) Normální typ krajiny: plochy, kde nedochází na stavbách k výraznému přemístění sněhu větrem kvůli okolnímu terénu, jiným stavbám nebo stromům.  
c) Chráněný typ krajiny: plochy, kde je uvažovaná stavba výrazně nižší než okolní terén nebo je stavba obklopena vysokými stromy a/nebo vyššími stavbami.

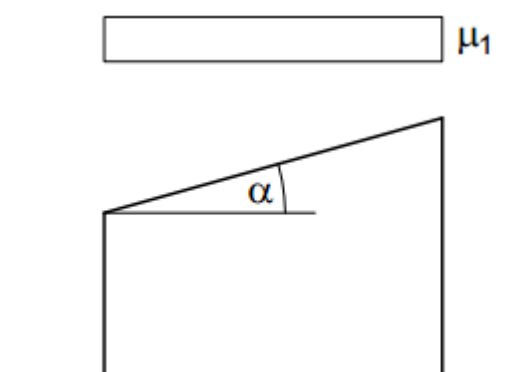
Pro můj případ volím normální krajinu  $\rightarrow C_e = 1$ .

### 2.5.4 Volba koeficientu $\mu_i$ (tvarový součinitel zatížení sněhem)

Závisí na sklonu střechy a na jejím typu pro můj případ to je plochá střecha, která v této normě spadá pod pultovou střechu.



Obr. 2.21 tvarové součinitele zatížení (1)



Obr. 2.22 tvarový součinitel zatížení sněhem – pultová střecha (1)

Z obr. 2.22 je patrné, že tvarový součinitel pro pultovou je jen jeden a ten je rovnoměrně rozložen po celé střeše.

TAB. 3 - Tvarové součinitele zatížení sněhem

Úhel sklonu střechy $\alpha$	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu_1$	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$	0

Úhel střešní konstrukce  $\alpha = 2^\circ \rightarrow \mu_1 = 0,8$ .

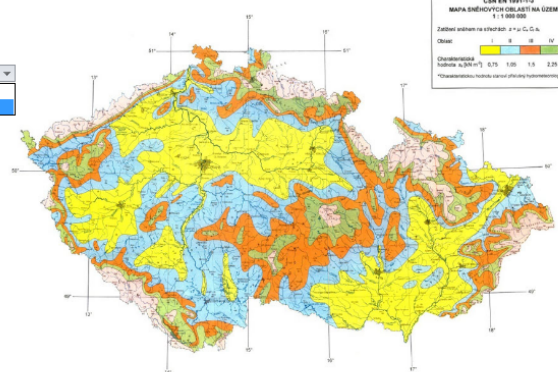
## 2.5.5 Výpočet zatížení dané střechy

$$S = \mu_i * C_e * C_t * S_k = 0,8 * 1 * 1 * 1,5 = 1,2 \text{ kPa} \quad (3)$$

- $\mu_1 = 0,8$  → pultová střecha s  $2^\circ$  sklonem  
 $C_e = 1$  → Normální krajina  
 $C_t = 1$  → Není zajištěno tání sněhu kvůli prostupu tepla střechou  
 $S_k = 1,5$  → III sněhová oblast

Když jsem procházel tuto normu tak jsem ještě neměl konzultaci i s firmou takže jsem vůbec nevěděl, kde umístit střechu a tím pádem ani jaké zatížení na ní bude působit. Z tohoto důvodu jsem si tehdy vytvořil Excel, díky kterému jsem měl pak tuto hodnotu spočítanou za par sekund.

<b>Volba tvarového součinitele střechy (<math>\mu_i</math>)</b>		
uhel alfa je	$0 \leq \alpha \leq 30$	°
uhel alfa	2	°
tvarový součinitel střechy ( $\mu$ )		0,8
<b>Volba součinitele expozice (<math>C_e</math>)</b>		
Druh krajiny	normální	plochy, kde nedochází k výraznému přemístění sněhu, kvůli okolním objektům
součinitele expozice ( $C_e$ )	1	
<b>Volba teplotního součinitele (<math>C_t</math>)</b>		
sních nebude tát z důvodu oteplování od střechy	nebude	
	bude	
	nebude	
teplotní součinitel		1
<b>Volba koeficientu zatížení sněhem na zem</b>		
sněhová oblast	III	
koeficient zatížení střechy		1,5
tlak na plochu způsobena sněhem [pa]		1200



Obr. 2.23 Norma sněhem vytvořená v Excelu

Abych se ujistil, že nebudu muset nic hledat tak jsem si dal práci s tímto Excelem. U volby tvarového činitele mam udělaný seznam, který je stejný jako u teplotního součinitele, ale má tam 3 možnosti. Po zvolení možnosti se mi započítá daný koeficient. U volby součinitele expozice mam taky seznam, který má taky tři možnosti a to otevřenou, normální nebo chráněnou krajinu. A na pravé straně od tohoto seznamu se mi automaticky napíše, co znamená vybraná krajina. Pod tímto seznamem se mi automaticky vyhodnotí hodnota tohoto součinitelů. Kvůli tomu, že nehrozilo, aby sníh na střeše tál, takže jsem sice udělal seznam i pro teplotní součinitel, ale nejsou funkční obě možnosti.



A jako poslední tak mám koeficient zatížení sněhem na zem, který má rozevírací seznam oblastí od I až do V oblasti, taky stačí jen vybrat danou oblast a změní se tento koeficient podle toho, jakou oblast vyberu. Jakmile jsme všechny tyto koeficienty zvolili tak v červeně označené buňce se nám zobrazí zatížení sněhem na střeche v Pa.

## 2.6 Norma větrem - ČSN EN 1991-1-4

Slouží pro zjištění zatížení větrem na konstrukci. Číselné hodnoty v těchto rovnicích platí jen pro můj příklad.

### 2.6.1 základní hodnoty

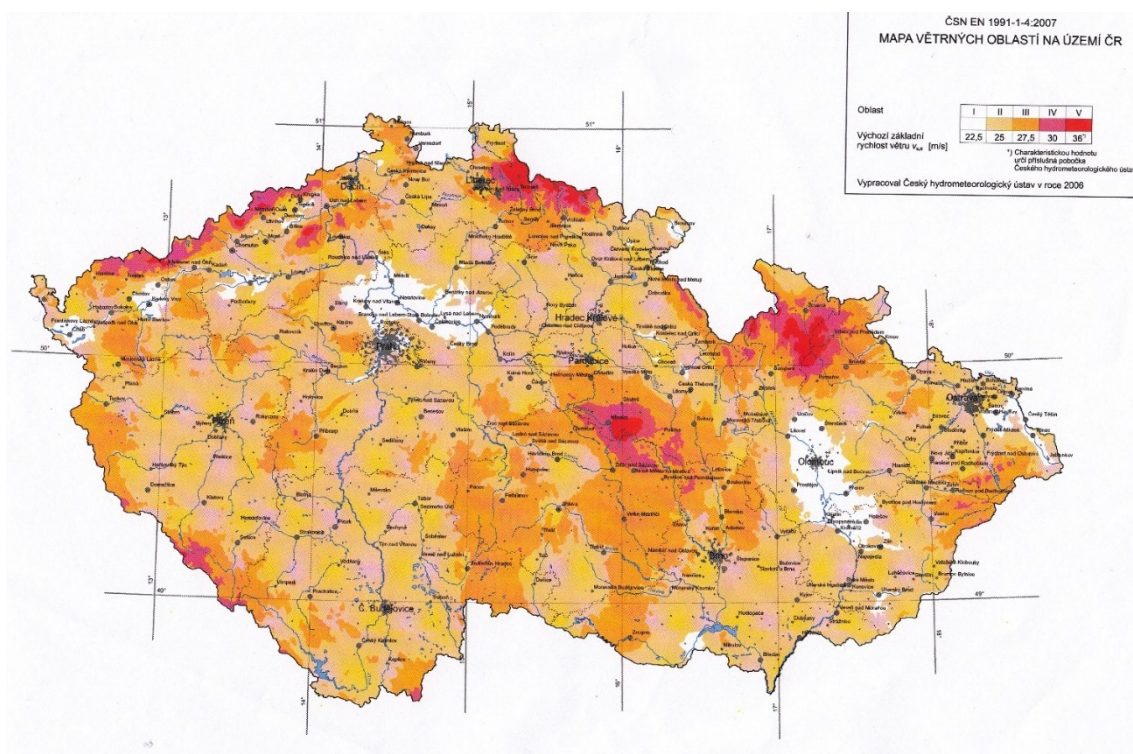
$$V_b = C_{dir} * C_{season} * V_{b,0} = 1 * 1 * 27,5 = 27,5 \text{ m/s} \quad (4)$$

$V_b$  „základní rychlost větru ve výšce 10 m“ (2)

$V_{b,0}$  „výchozí rychlost větru“ (volím III, viz TAB. 5) (2)

$C_{dir}$  „součinitel směru větru (doporučená hodnota 1)“ (2)

$C_{season}$  „součinitel ročního období (doporučená hodnota 1)“ (2)



Obr. 2.24 mapa větrných oblastí na území ČR

TAB. 4 - větrné oblasti

Oblasti	I	II	III	IV	V
$V_{b,0}$ [m/s]	22,5	25	27,5	30	36

### 2.6.2 Střední rychlost větru

$$V_m(Z) = C_r(Z) * C_o(Z) * V_b = 0,86 * 1 * 27,5 = 23,65 \text{ m/s} \quad (5)$$

$C_o(Z)$  „součinitel orografie (nejčastěji 1)“ (2)

$C_r(Z)$  „součinitel drsnosti terénů“ (viz. 6 rovnice) (2)

$$C_r(Z) = k_r * \ln \frac{Z}{Z_0} = 0,19 * \ln \frac{4,595}{0,05} = 0,8589 \doteq 0,86 \quad (6)$$

$k_r$  „součinitel terénu“ (viz. 7 rovnice) (2)

$Z_0$  „parametr drsnosti terénu“ (volím II, viz. TAB 6) (2)

$Z$  Výška namáhaného prvku (v mém případě 4,595 m).

$$k_r = 0,19 * \left( \frac{Z_0}{Z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 * \left( \frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19 \quad (7)$$

$Z_{0,II}$  konstanta (její hodnota je 0,05)

TAB. 5 - kategorie terénu a jejich parametry

Kategorie terénu	$Z_0$ [m]	$Z_{\min}$ [m]
0) Moře nebo pobřežní oblasti vystavené otevřenému moři	0,003	1
I) Jezera nebo vodorovné oblasti, bez překážek	0,01	1
II) Oblasti s nízkou vegetací a s izolovanými překážkami	0,05	2
III) Oblasti rovnoměrně pokryté vegetací nebo budovami	0,3	5
IV) Oblasti, které mají průměrnou výšku přes 15 m	1	10



### 2.6.3 turbulence větru

$$l_v(Z) = \frac{k_I}{c_o(Z) \cdot \ln(Z/Z_0)} = \frac{1}{1 \cdot \ln(4,595/0,05)} = 0,22 \quad (8)$$

$k_I$  „součinitel turbulence (doporučená hodnota je 1)“ (2)

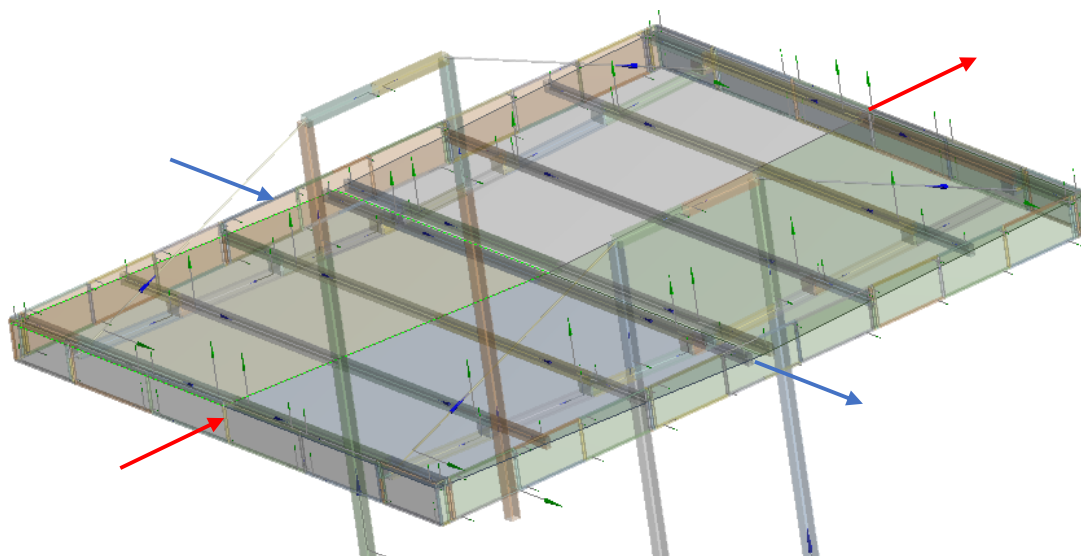
$l_v(Z)$  „intenzita turbulence“ (2)

### 2.6.4 Maximální dynamický tlak

$$q_p(Z) = [1 + 7 \cdot l_v(Z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot V_m^2 = (1 + 7 \cdot 0,22) \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 23,65^2 = 887,924 \text{ Pa} \quad (9)$$

$\rho$  „měrná hmotnost vzduchu (doporučená hodnota 1,25)“ (2)

$q_p(Z)$  „základní dynamický tlak větru“ (2)



Obr. 2.25 zatěžovací stavy větru (modrá – příčný směr, červená – podélný směr)

### 2.6.5 Působení větru v podélném směru

$$C_{pe} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \cdot \log A = 1 + (0,8 - 1) \cdot \log 4,77 = 0,864 \quad (10)$$

$A$  obsah zatěžované plochy (pro podélný směr to je 4,77 m<sup>2</sup>)

$C_{pe}$  součinitel vnějšího tlaku

$C_{pe,1}$  součinitel vnějšího tlaku, když je plocha menší než 1 m (dle TAB. 7, je 1)

$C_{pe,10}$  součinitel vnějšího tlaku, když je plocha větší než 10 m (dle TAB. 7, je 0,8)

$$\frac{Z}{d} = \frac{4,595}{10,398} = 0,44 \doteq 1 \quad (11)$$

d celková tloušťka

Z důvodu bezpečnosti jsem zaokrouhloval nahoru a tím budu brát větší (přísnější) součinitel tlaku.

TAB. 6 – doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro svislé stěny  
pozemních staveb s pravoúhlým půdorysem

Oblast	...	D		...
Z/d	...	C <sub>pe,10</sub>	C <sub>pe,1</sub>	...
5	...	0,8	1	...
1	...	0,8	1	...
≤ 0,25	...	0,7	1	...

$$W_e = q_p(Z) * C_{pe} = 887,924 * 0,864 = 767,166 \text{ Pa} \quad (12)$$

W<sub>e</sub> „vnější tlak větru“

Na konstrukci vítr působí tak, že na jedné straně konstrukci tlačí a na druhé straně díky podtlaku táhne.

$$W_{e1} = W_e * 1,2 = 767,166 * 1,2 = 920,6 \text{ Pa} \quad (13)$$

$$W_{e2} = W_e * 0,8 = 767,166 * 0,8 = 613,7 \text{ Pa} \quad (14)$$

W<sub>e1</sub> vnější tlak větru na konstrukci

W<sub>e2</sub> vnější tah větru na konstrukci

## 2.6.6 Působení větru v příčném směru

$$C_{pe} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) * \log A = 1 + (0,8 - 1) * \log 5,822 = 0,847 \quad (15)$$

A obsah zatěžované plochy (pro podélný směr to je 5,822 m<sup>2</sup>)

C<sub>pe</sub> součinitel vnějšího tlaku

C<sub>pe,1</sub> součinitel vnějšího tlaku, když je plocha menší než 1 m (dle TAB. 7, je 1)

C<sub>pe,10</sub> součinitel vnějšího tlaku, když je plocha větší než 10 m (dle TAB. 7, je 0,8)

$$\frac{z}{d} = \frac{4,595}{8,518} = 0,54 \div 1 \quad (16)$$

d celková tloušťka

$$W_e = q_p(z) * C_{pe} = 887,924 * 0,847 = 752,072 \text{ Pa} \quad (17)$$

W<sub>e</sub> „vnější tlak větru“

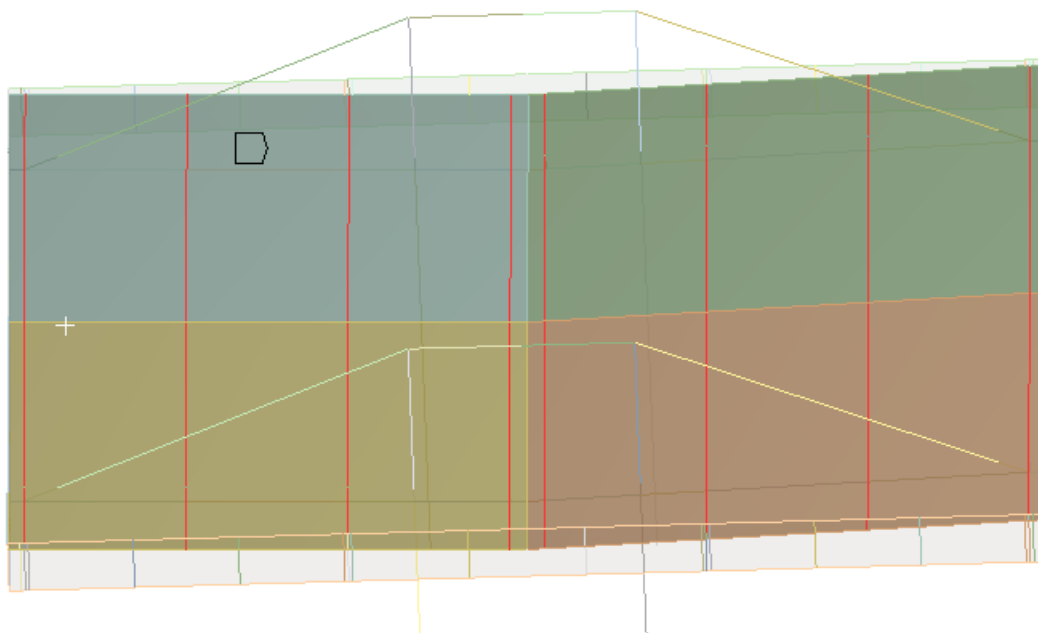
$$W_{e1} = W_e * 1,2 = 752,072 * 1,2 = 902,5 \text{ Pa} \quad (18)$$

$$W_{e2} = W_e * 0,8 = 752,072 * 0,8 = 601,7 \text{ Pa} \quad (19)$$

## 2.7 Počáteční podmínky

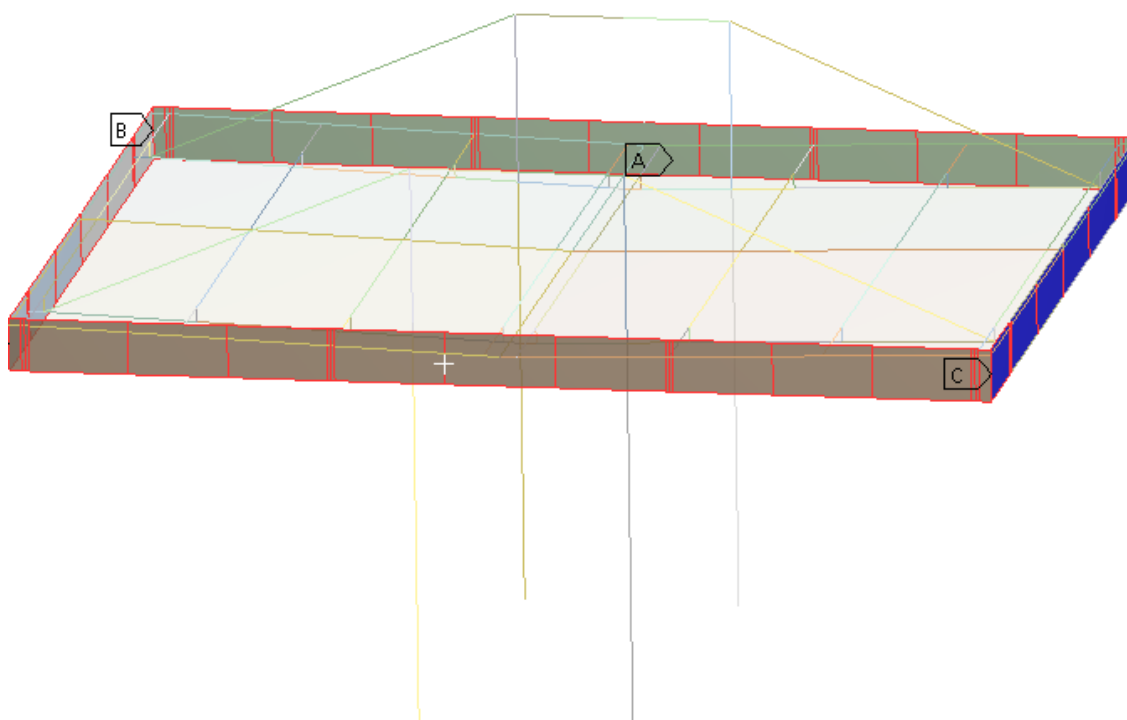
### 2.7.1 Kontakty

Pro spojení sítě desek se sítí nosníků použiju „Bonded Connections“. Bonded Connections česky to znamená lepené spoje. Tento spoj používáme tehdy, když z nějakého důvodu do dané části nemůžeme dát do part nebo když chceme, aby se při určité síle spoj zrušil (odlepil).



*Obr. 2.26 Kontakt desky (sněhové) s nosníky*

Červené čáry znázorňují nosníky, které jsou v kontaktu s deskou. Tímto je zajištěné, že deska neprojde nosníky.

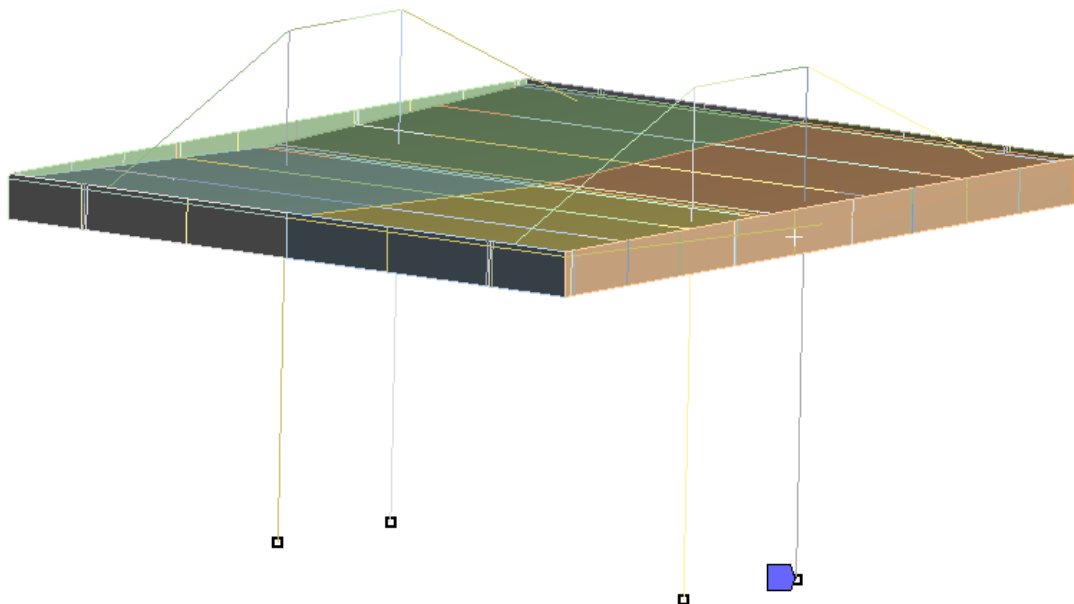


*Obr. 2.27 kontakt desek (větrných) s atikou*

Červené čáry znázorňují nosníky od atiky, které jsou v kontaktu s deskami, které se už nebudou odlepit ani projít přes nosníky od atiky. Protože deska je přichycena ke konstrukci a zároveň přenáší zatížení větrem do nosíkové části.

### 2.7.2 Uchycení

Celá konstrukce bude upevněna v malých patkách, které mají na výsledky nepatrný vliv. Proto jsem jednoduše zakázal ve čtyřech spodních bodech konstrukce veškerý posuv i rotace. A zároveň jsem vypnul weak springs, které dávají modelu dodatečné ukotvení, které tam ve skutečnosti není.



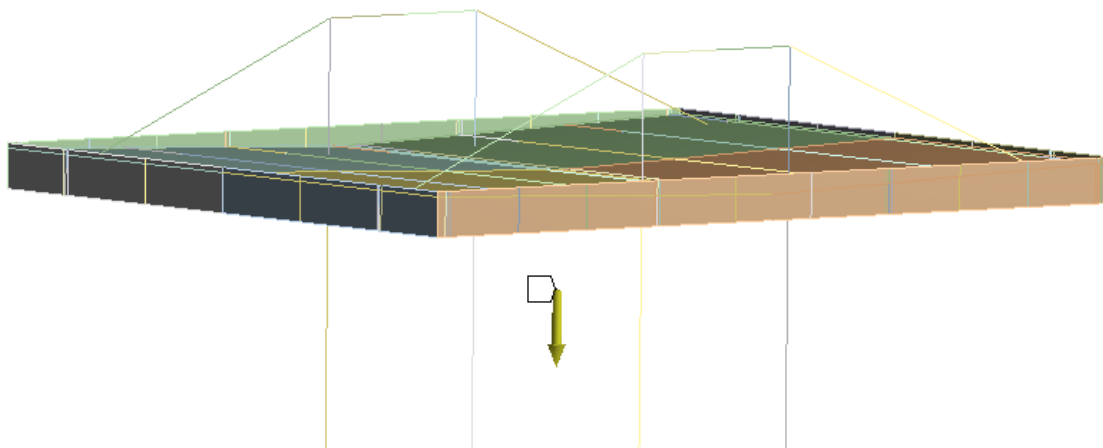
Obr. 2.28 Uchycení modelu

### 2.7.3 Zatížení

Střecha je zatížena stálým a nahodilým zatížením. Stálé zatížení je v našem případě způsobené vlastní tíhou, zatímco nahodilé zatížení je způsobené silou větru a tíhou sněhu. Podle normy ČSN EN 1991-1-1 je nutné k stálým a nahodilým zatížením připočítat dílčí součinitel zatížení. Pro zatížení nahodilé (např. sněhem a větrem) je dílčí součinitel rovný 1,5 což znamená, že tyto zatížení budou o 50% silnější. Pro zatížení stálé (např. vlastní tíha) je dílčí součinitel rovný 1,35 což znamená, že váha konstrukce bude o 35% větší. U této střechy jsem už dílčí součinitel stálý připočítal (viz. Materiál). Zatížení větrem pro naši konstrukci musíme udělat ve dvou směrech, v podélném a v příčném.

**Vlastní tíha:**

Gravitační tíha na zemi je  $9,8066 \text{ m/s}^2$  a působí na všechna tělesa stejně.



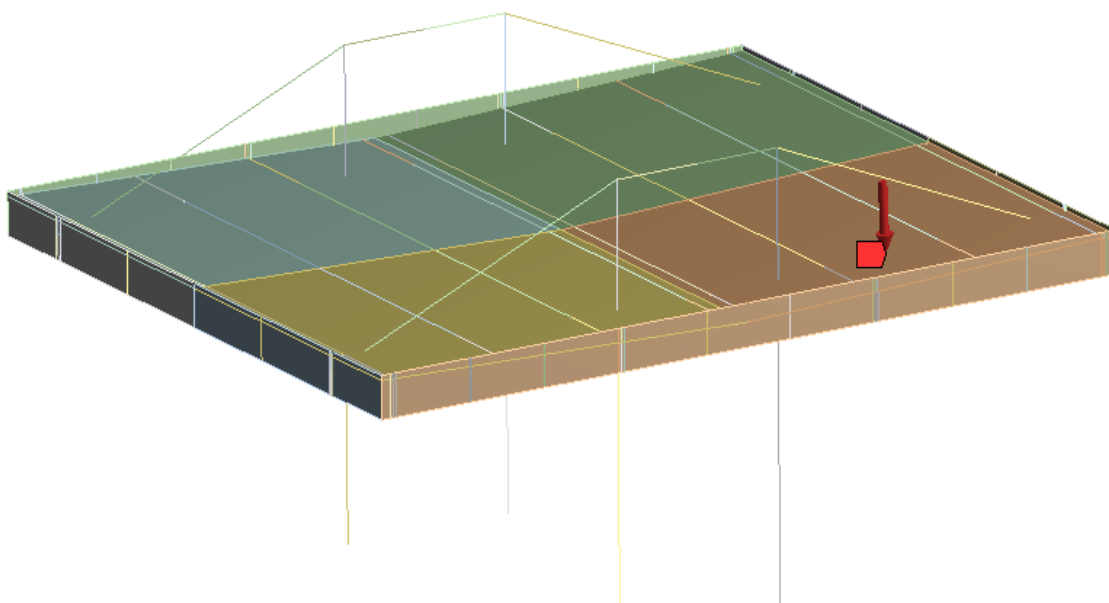
*Obr. 2.29 gravitační tíha*

**Zatížení sněhem:**

Zatížení sněhem ve třetí sněhové oblasti pro danou střechu je  $1200 \text{ Pa}$  (viz. Norma sněhem). Zatížení sněhem se počítá jako zatížení nahodilé a z tohoto důvodů musím připočíst 50% zatížení navíc.

$$S_k = S * 1,5 = 1200 * 1,5 = 1800 \text{ Pa} \quad (20)$$

Takže do modelu budu dávat  $1800 \text{ Pa}$  na celou plochu desky. Směr zatížení bude stejný jako u gravitační tíha.



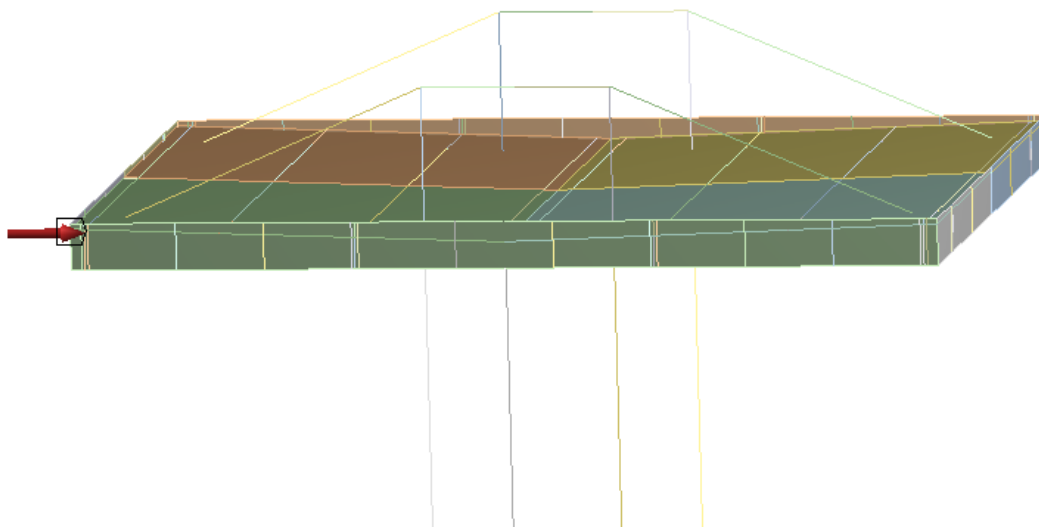
*Obr. 2.30 Zatížení sněhem*

### Zatížení větrem:

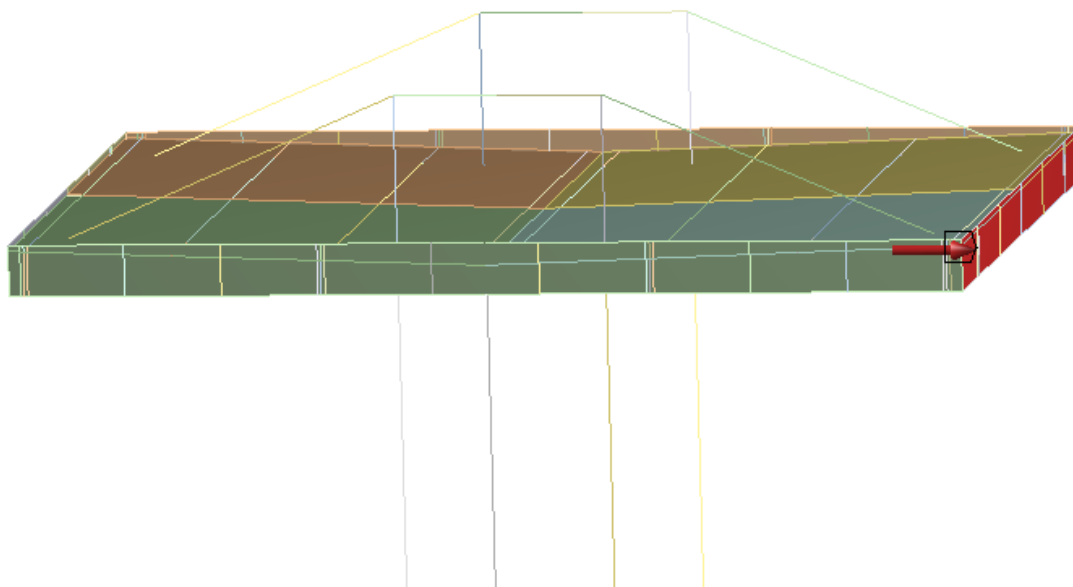
Zatížení větrem ve třetí větrné oblasti pro danou střechu a podélný směr větru je pro tlačенou desku 920,6 Pa a pro taženou desku 613,7 Pa (viz. Norma větrem). Stejně jako zatížení sněhem tak i zatížení větrem se počítá jako zatížení náhodné a z tohoto důvodu musím připočíst 50% zatížení navíc.

$$W_{ke1} = W_{e1} * 1,5 = 920,6 * 1,5 = 1380,9 \text{ Pa} \quad (21)$$

$$W_{ke2} = W_{e2} * 1,5 = 613,7 * 1,5 = 920,6 \text{ Pa} \quad (22)$$



*Obr. 2.31 Zatížení větrem – podélný směr a tlačená deska*

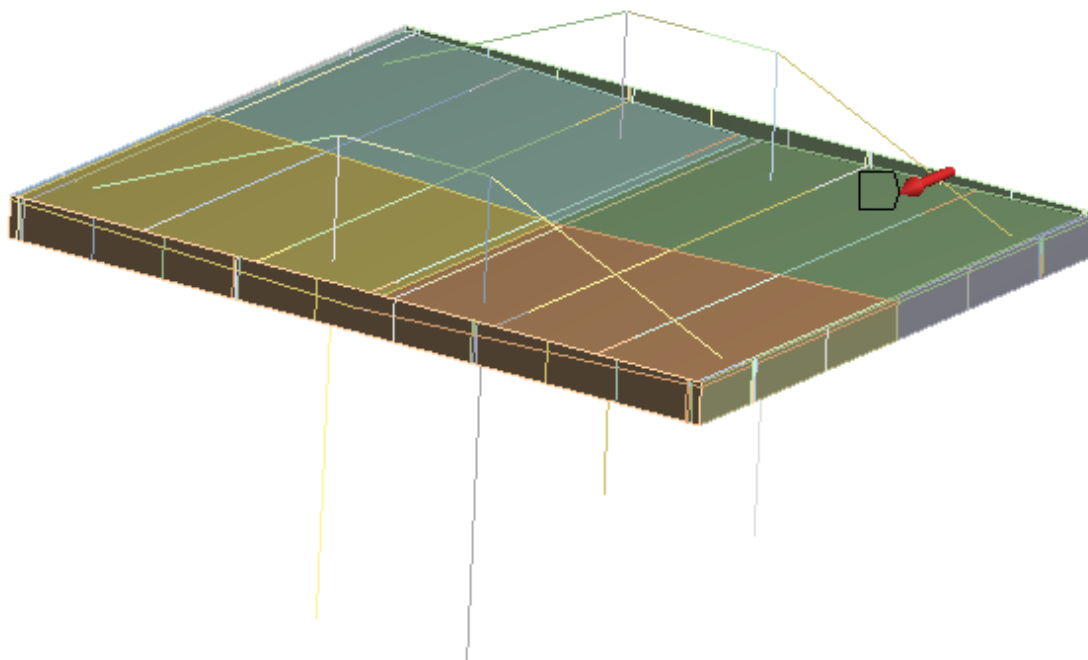


*Obr. 2.32 Zatížení větrem – podélný směr a tažená deska*

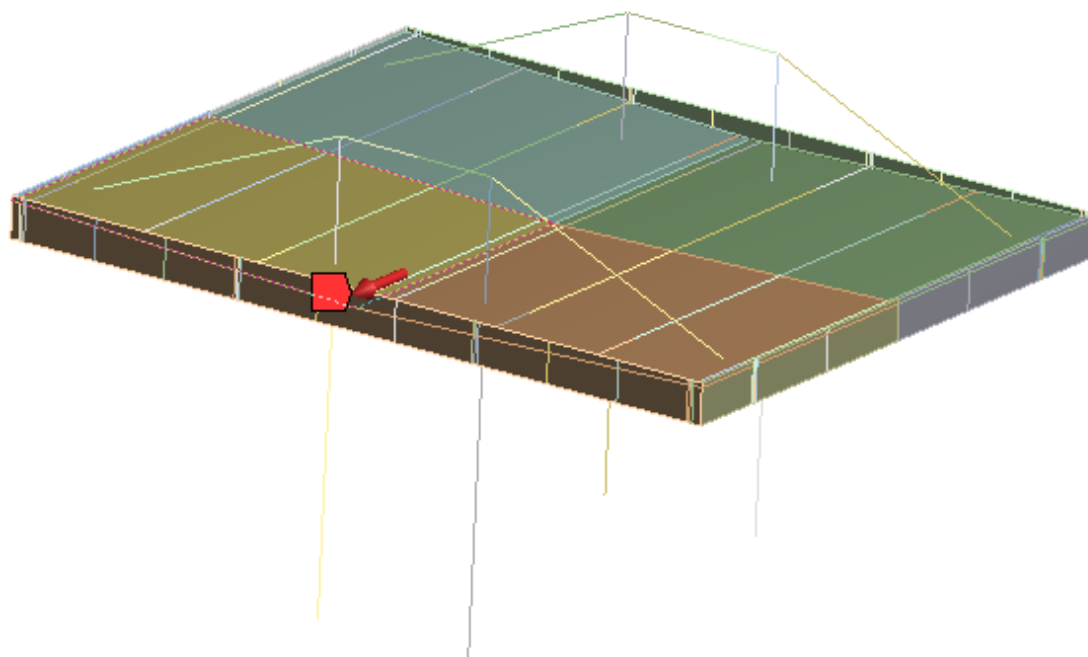
Zatížení větrem ve třetí větrné oblasti pro danou střechu a příčný směr větru je pro taženou desku 902,5 Pa a pro taženou desku 601,7 Pa (viz. Norma větrem). A stejně jako u podélného směru tak i tady připočítám 50% zatížení navíc

$$W_{ke1} = W_{e1} * 1,5 = 902,5 * 1,5 = 1353,8 \text{ Pa} \quad (23)$$

$$W_{ke2} = W_{e2} * 1,5 = 601,7 * 1,5 = 902,6 \text{ Pa} \quad (24)$$



*Obr. 2.33 Zatížení větrem – příčný směr a tlačená deska*



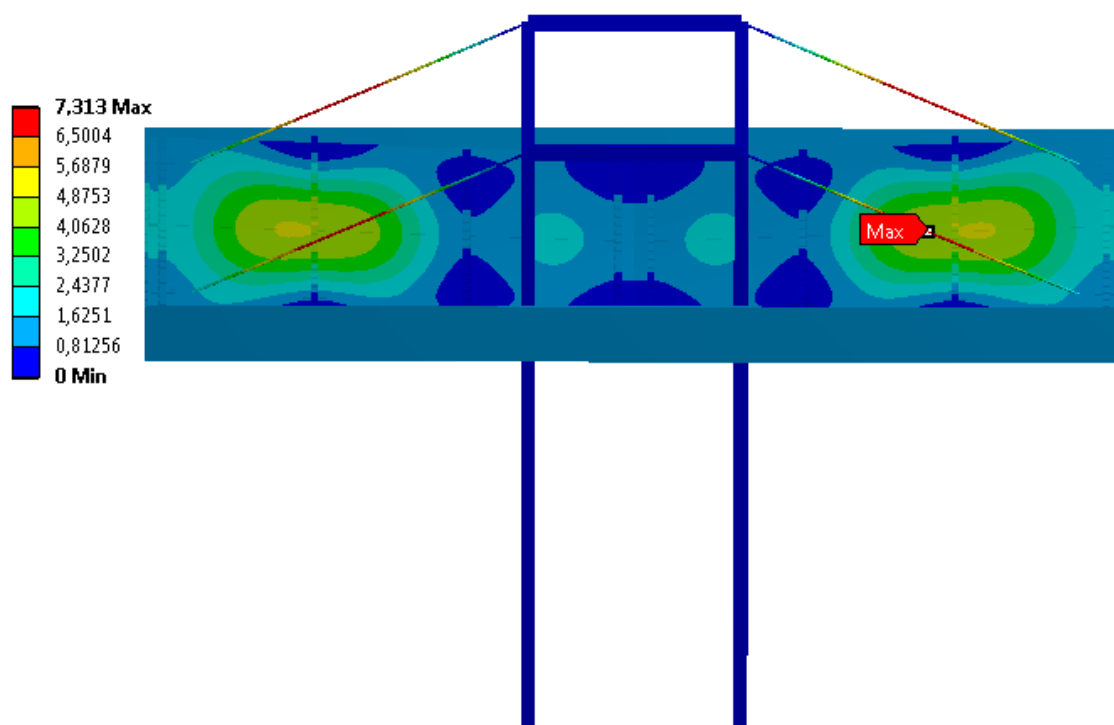
*Obr. 2.34 Zatížení větrem – příčný směr a tažená deska*



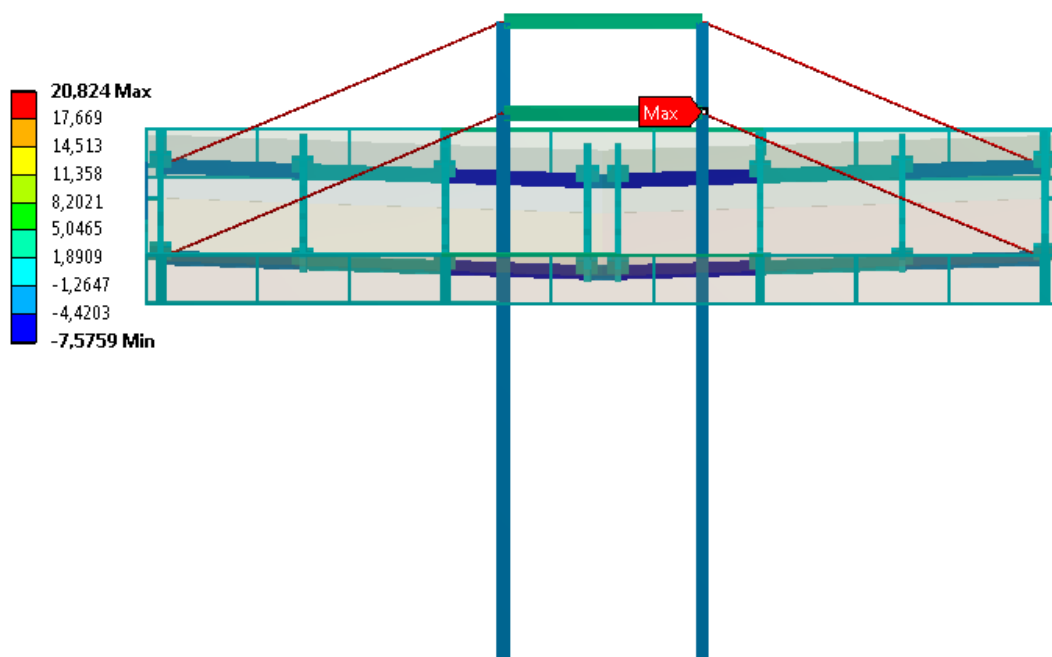
## 2.8 Výsledky

### 2.8.1 Účinky jednotlivých zatížení

Účinky tíhové síly.

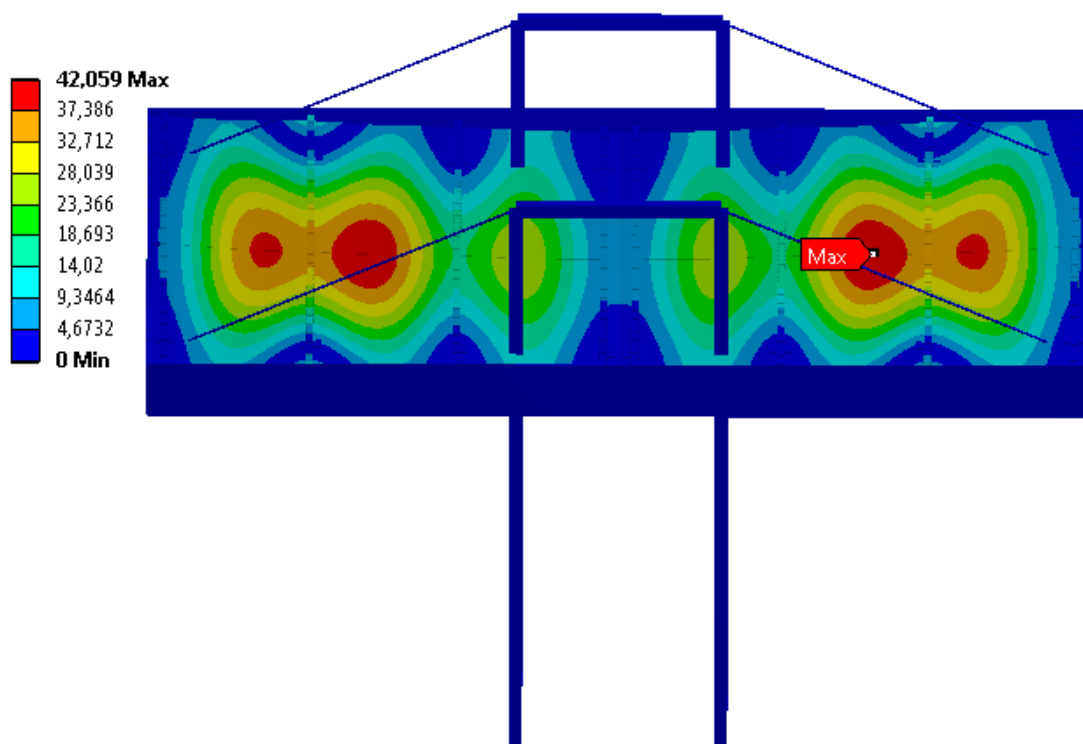


Obr. 2.35 Deformace způsobená vlastní tíhou [mm]

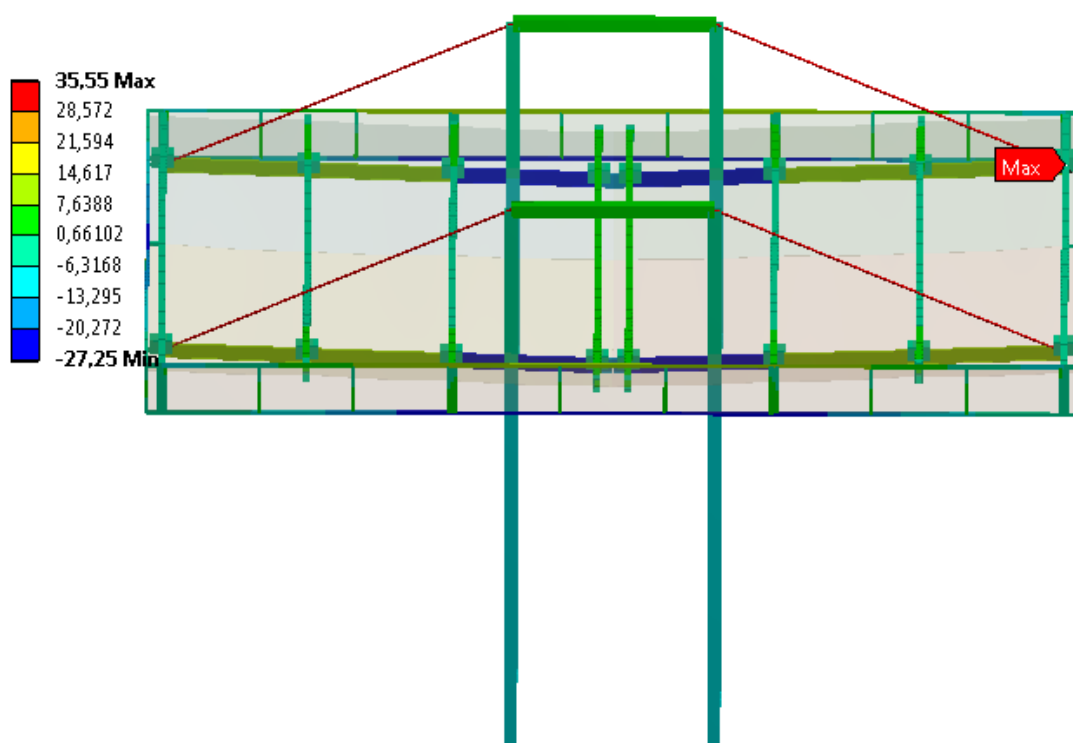


Obr. 2.36 Osově napětí způsobené vlastní tíhou [MPa]

Účinky sněhové síly.

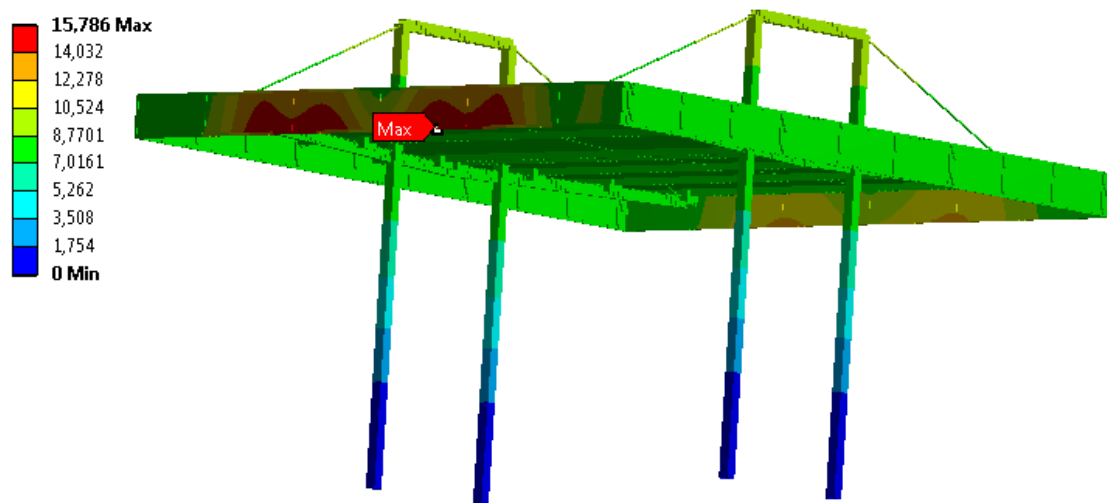


Obr. 2.37 Deformace od tíhy sněhu [mm]

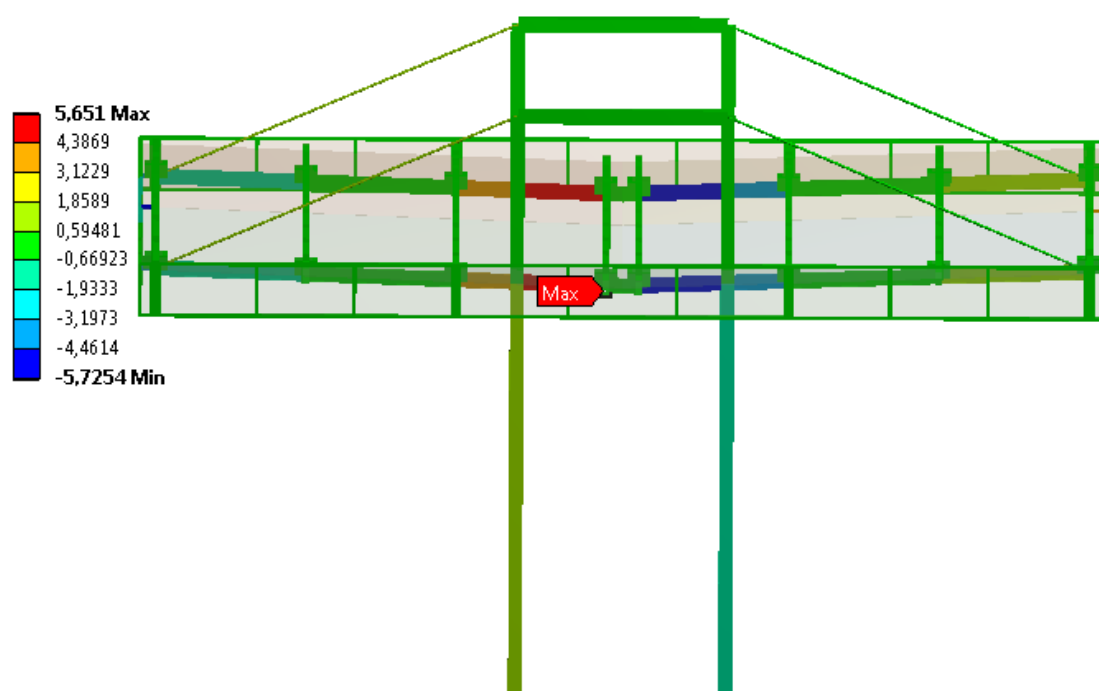


Obr. 2.38 Osově napětí způsobené tíhou sněhu [MPa]

Účinky větru v podélném směru.

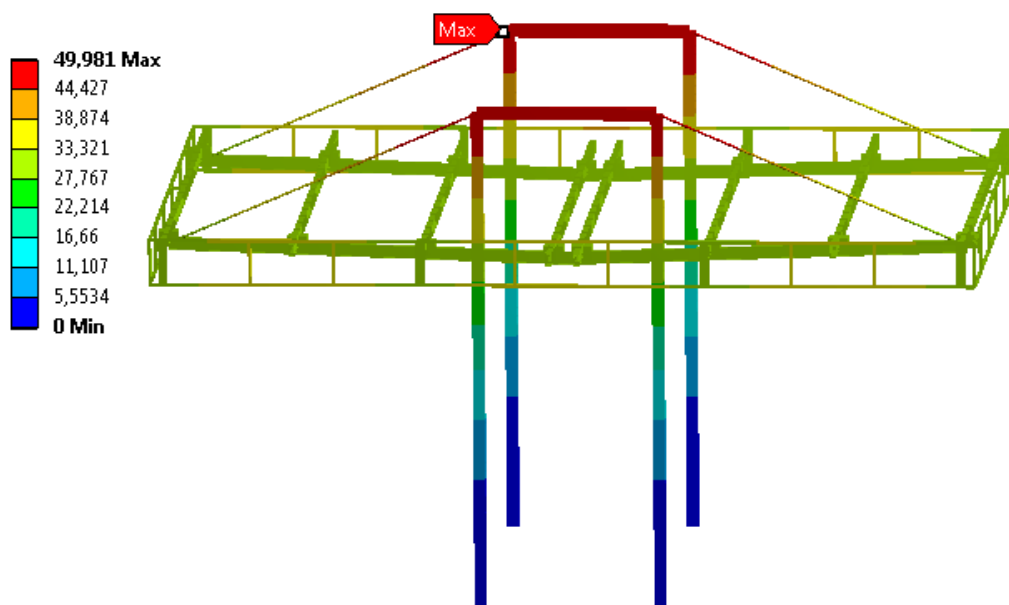


Obr. 2.39 Deformace způsobená podélným větrem [mm]

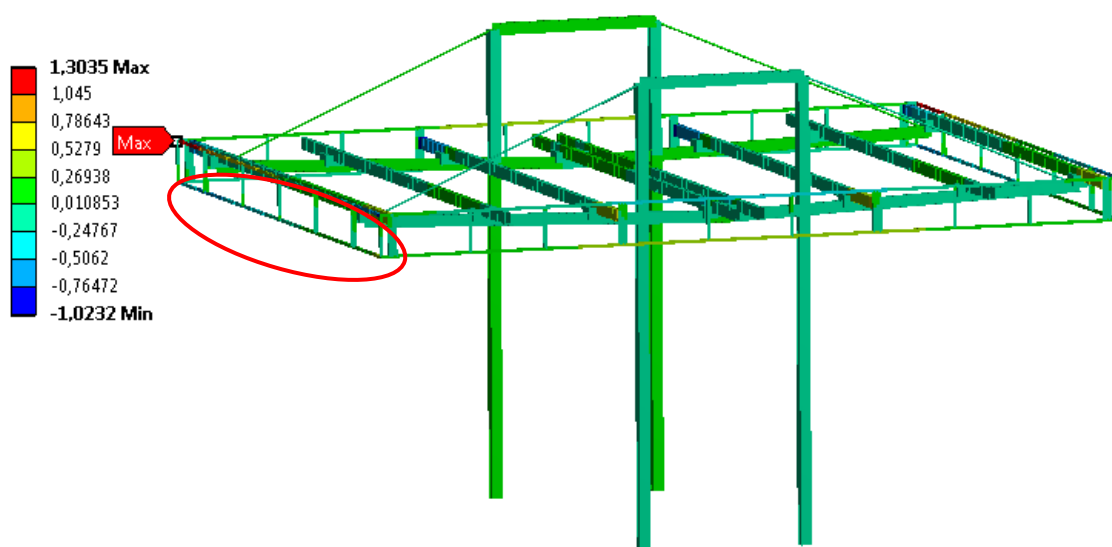


Obr. 2.40 Osově napětí způsobené podélným větrem [MPa]

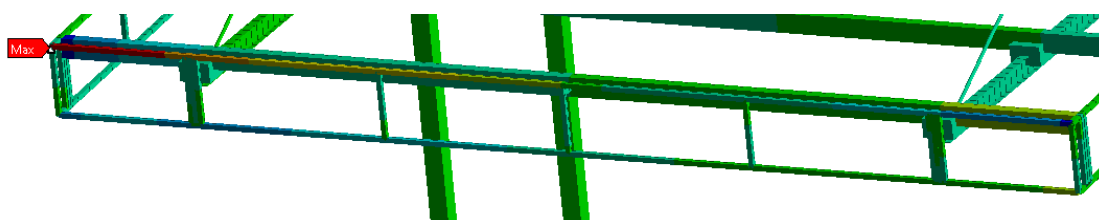
Účinky větru v příčném směru.



Obr. 2.41 Deformace způsobená příčným větrem [mm]



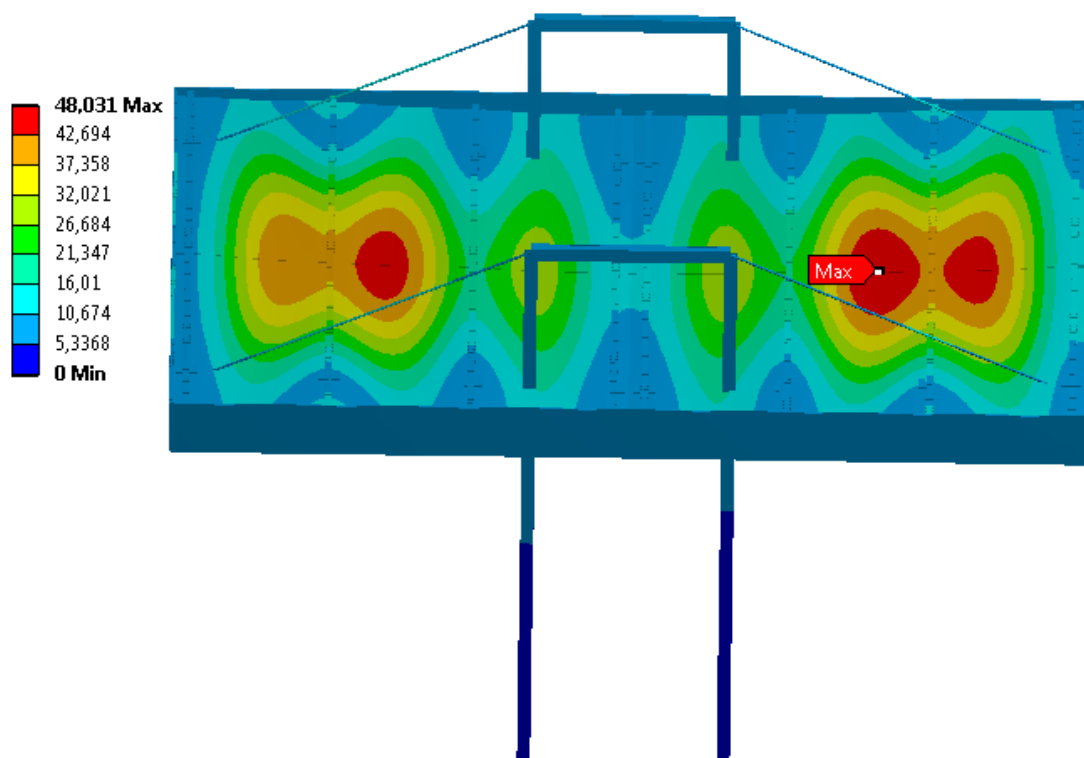
Obr. 2.42 Osově napětí způsobené příčným větrem [MPa]



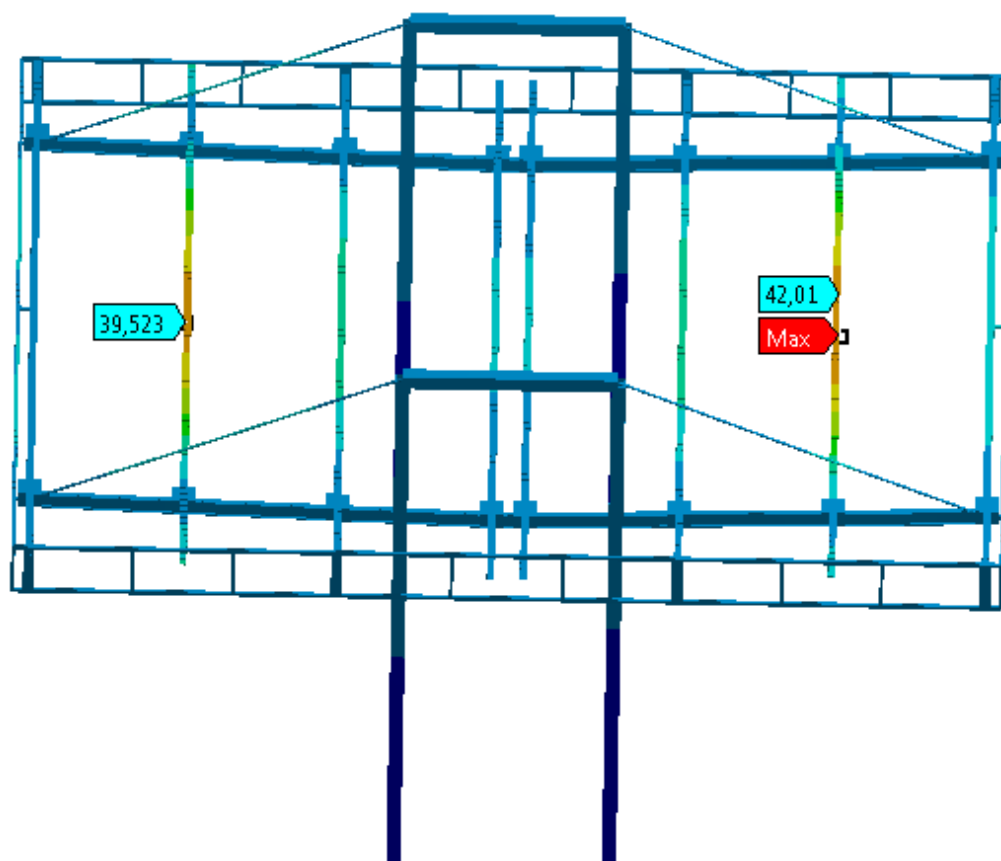
Obr. 2.43 Detail osového napětí způsobené příčným větrem

## 2.8.2 Deformace

Pro podélný směr větru zleva doprava.



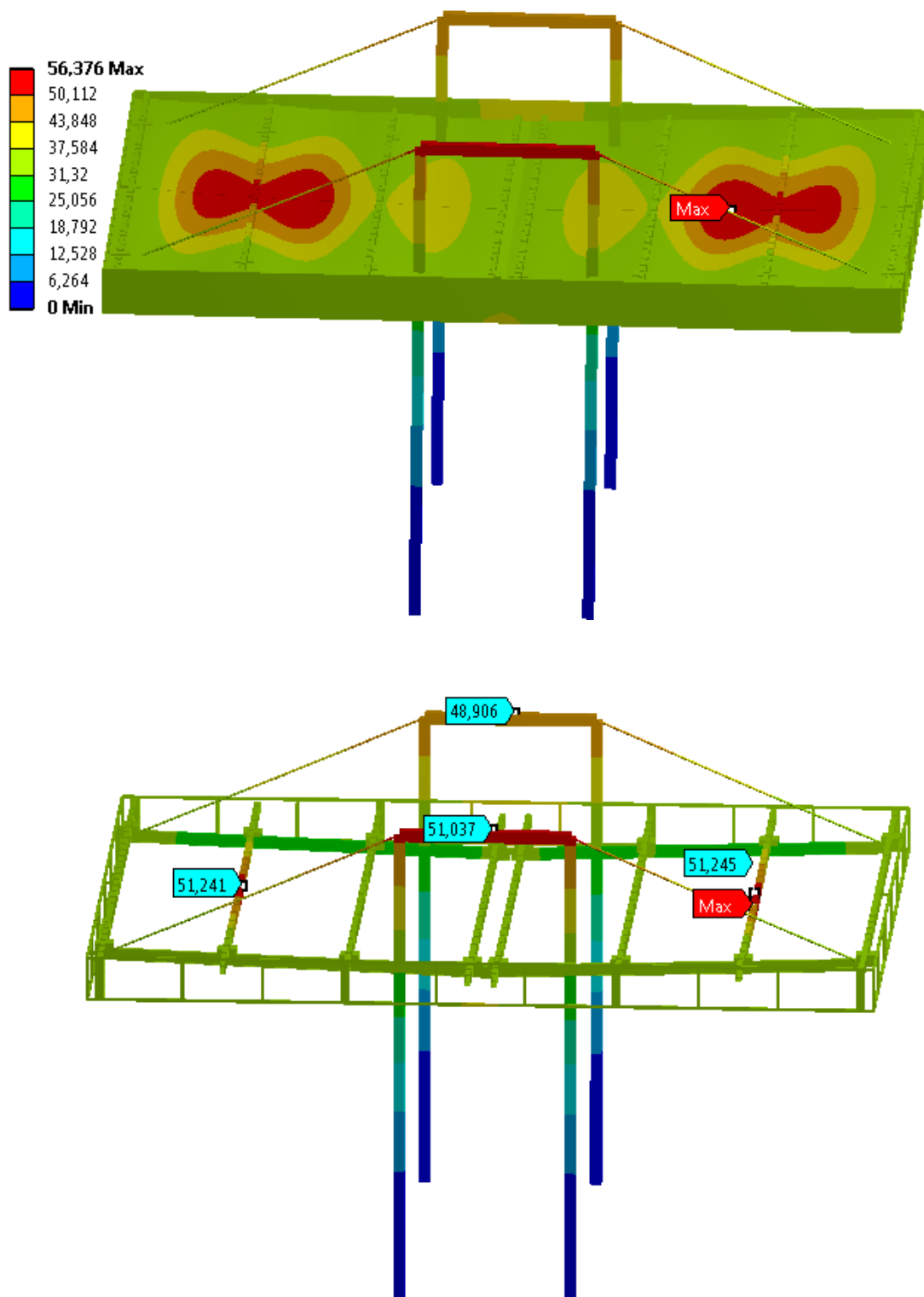
Obr. 2.44 Deformace celé střechy pro podélný směr větru [mm]



Obr. 2.45 Deformace nosíkové části střechy pro podélný směr větru [mm]

Dle předchozích obrázků (Obr. 2.44 a Obr. 2.45) je na pravé straně větší deformace 42,01 mm. A podle Obr. 2.39 a Obr. 2.40 jde vidět, že čistě kvůli větru to není způsobené. Protože vodorovná střecha se nezačala naklánět, ale jen se celá posunula vpravo. Z tohoto vyplívá, že tohle je způsobené kombinací všech třech zatížení, které na konstrukci působí.

Pro příčný směr větru od nás k nám.

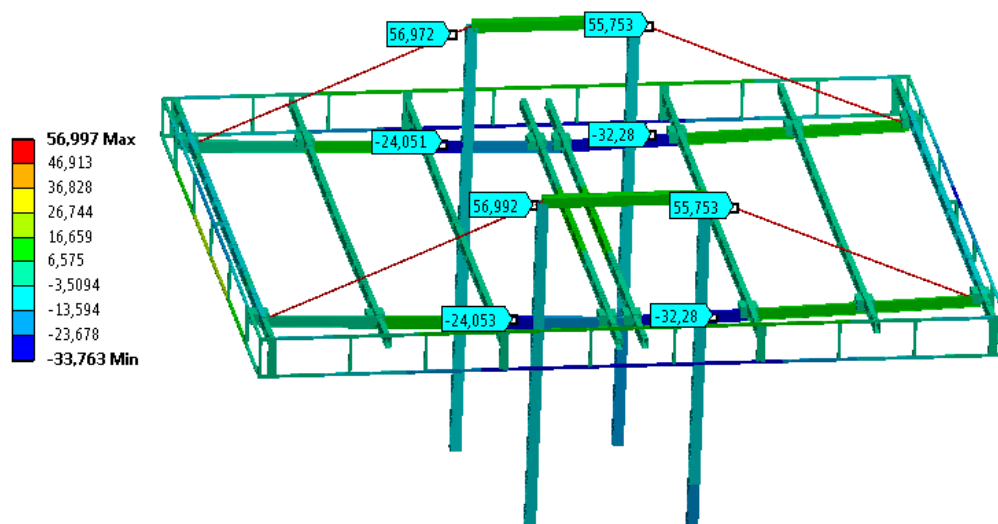


Obr. 2.47 Deformace nosníkové části střechy pro příčný směr větru [mm]

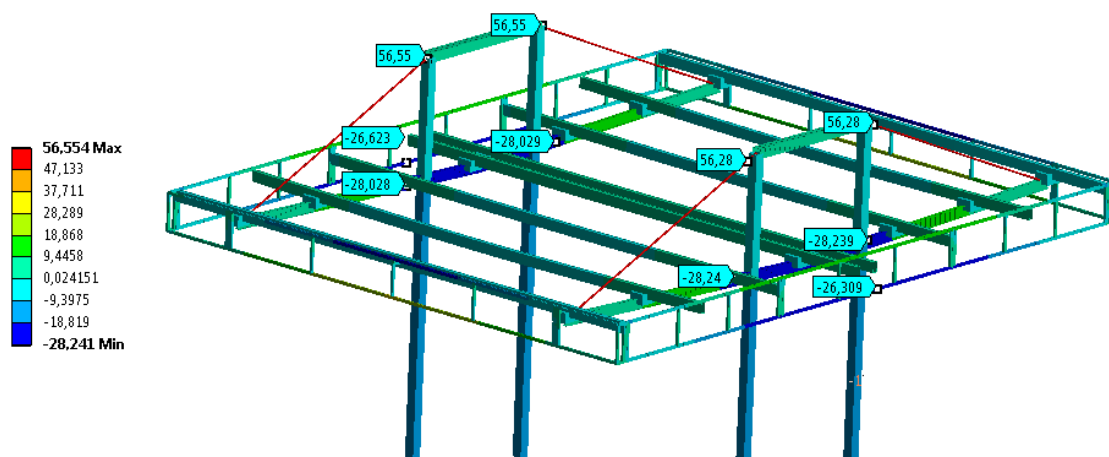
Dle předchozích obrázků (Obr. 2.46 a Obr. 2.47) jde vidět, že se konstrukce mírně naklonila k nám. Když se zaměříme na Obrázek 2.47 tak si můžeme všimnout, že na pravé straně je zase největší deformace a to 51,245 mm. Na levé straně je sice deformace o něco málo menší 51,241 mm, ale tenhle rozdíl je způsoben nepřesností uchycení hodnoty na modelu. Neboli na obrázku sice nejsou stejné hodnoty, ale jak vpravo tak i vlevo je stejná hodnota deformace. A co se týče rozdílu deformace na nejvyšším místě rámu 51,037 mm a 48,906. Tak ten je opět způsoben kombinací všech zatížení, které na konstrukci působí.

### 2.8.3 Osově napětí

Podélný směr větru zleva doprava. Na následujícím obrázku si můžeme všimnout, že největší tah je na tyčích na levé straně a to o hodnotě 56,992 MPa.



Obr. 2.48 Osově napětí pro podélný směr větru [MPa]

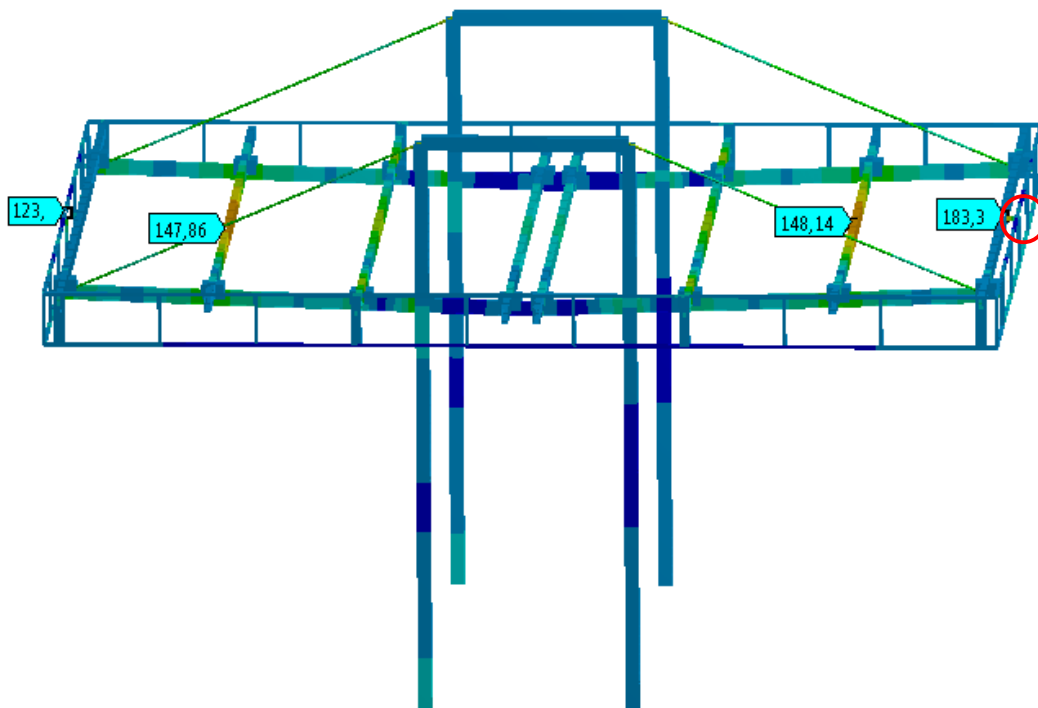


Obr. 2.49 Osově napětí pro příčný směr větru [MPa]

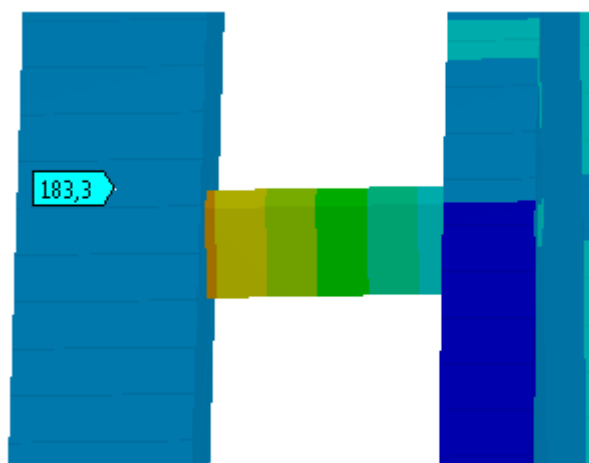
Největší tah je na tyči o hodnotě 56,55 MPa. A největší tlak je uprostřed střechy na I nosníků, jehož hodnota je 28,03 MPa.

#### 2.8.4 Kombinované napětí – maximální

Pro podélný směr větru zleva doprava.



Obr. 2.50 Kombinované napětí pro podélný směr větru (maximální)[MPa]



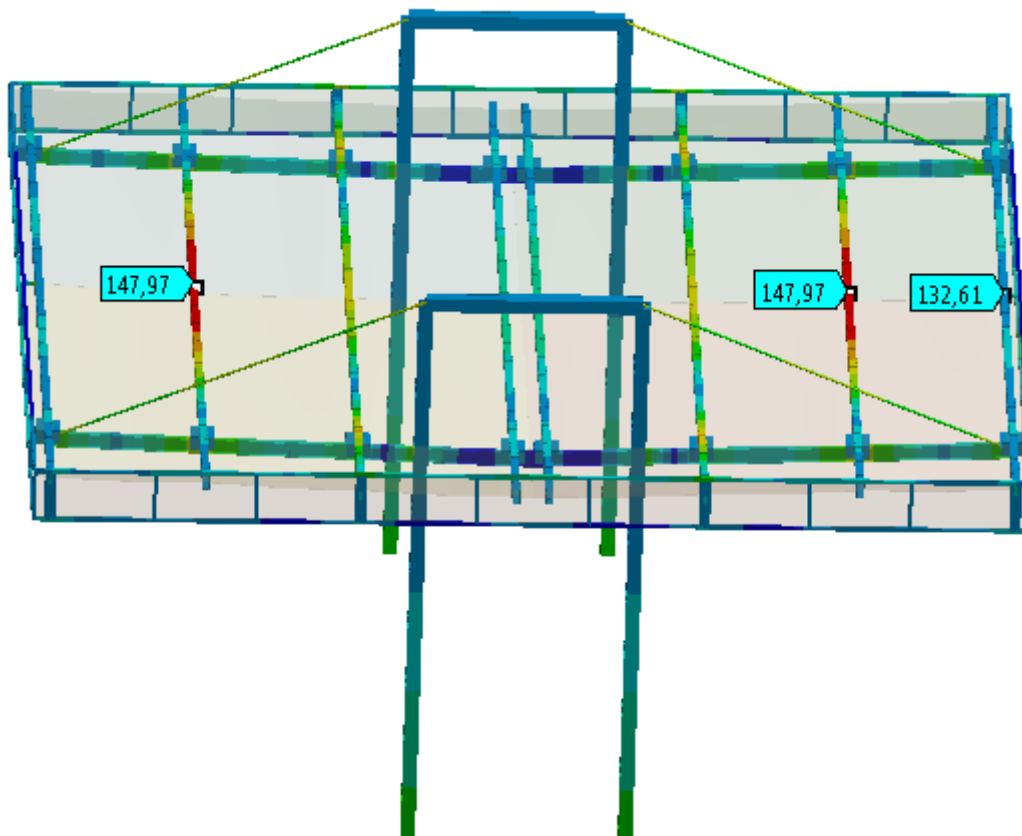
Obr. 2.51 Detail na největší kombinované napětí pro podélný směr větru [MPa]

Na předchozích obrázcích můžeme vidět, že největší napětí je na spojení mezi atikou a nosníkem vpravo v modelu 183,3 MPa. Další velké napětí je na druhých nosnících, které činí 147,86 MPa a 148,14 MPa. Na daných obrázcích vítr fouká zleva doprava



a tím pádem na levé straně je větší zatížení větrem a přesto je tam menší napětí než na straně pravé. Tohle je způsobené převážně kombinací zatížení sněhem a větrem.

Pro příčný směr větru k nám.



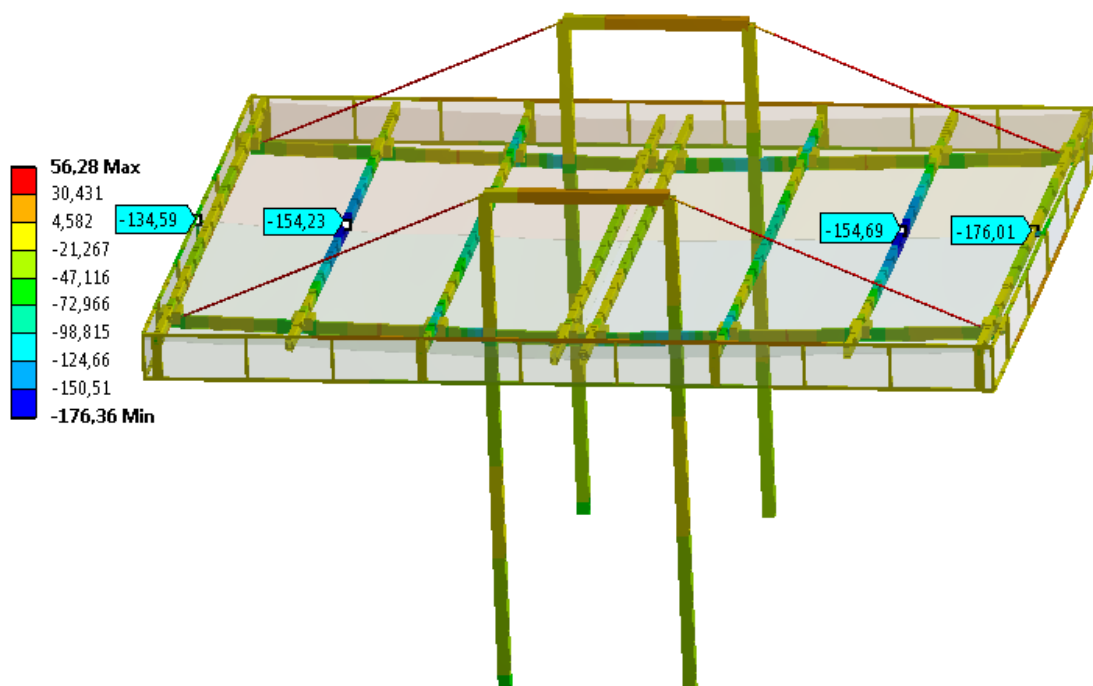
*Obr. 2.52 Kombinované napětí pro příčný směr větru (maximální) [MPa]*

Na předchozím obrázku můžeme vidět, že maximální napětí je na druhých nosnících o velikosti 147,97 MPa. A vpravo kde je spojení atiky s nosníkem je napětí 132,61 MPa to je o poznání méně než u podélného směru větru.

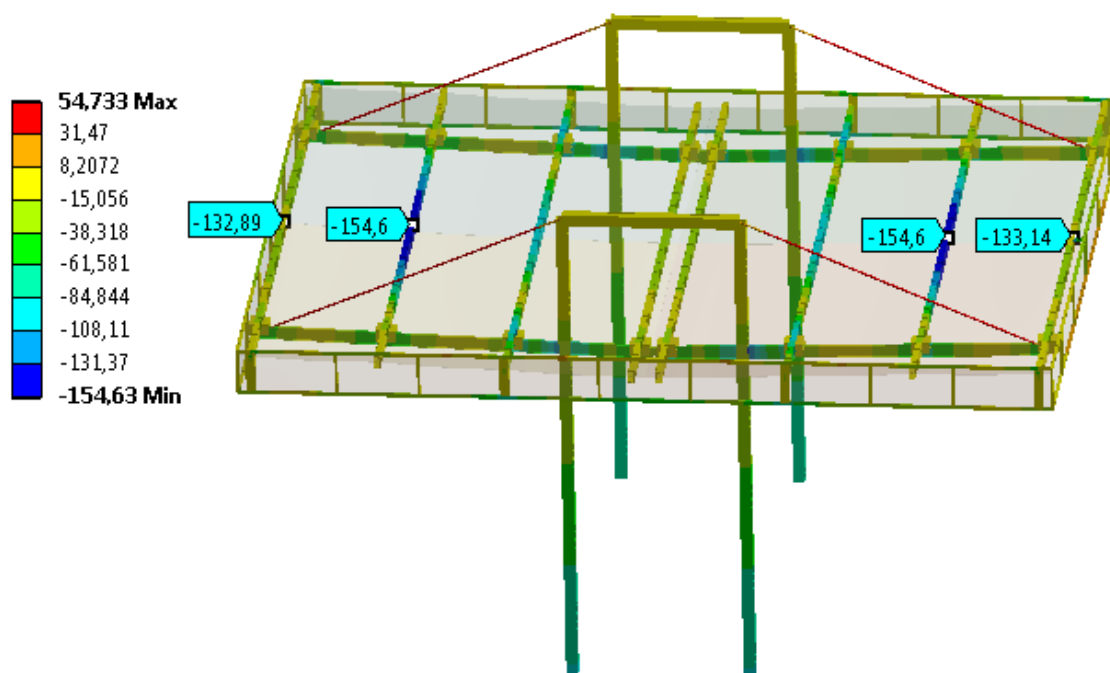
### **2.8.5 Kombinace napětí – minimální**

Pro podélný směr větru zleva doprava.

Podle následujícího obrázku je patrné, že největší napětí je na pravé spojce atiky s nosníkem uprostřed konstrukce, které má hodnotu 176,91 MPa. Na levé spojce je hodnota pouze 134,59 MPa. Ještě za zmínku stojí druhé nosníky, které nejsou spojené s atikou a mají hodnoty napětí 154,23 MPa a 154,69 MPa.



Obr. 2.53 Kombinované napětí pro podélný směr větru (minimální)[MPa]



Obr. 2.54 Kombinované napětí pro příčný směr větru (minimální)[MPa]

Na předchozím obrázku jsou zobrazené několik největších napětí na konstrukci. Největší z nich je na druhých nosnících, které nejsou připevněny k atice a jejich hodnoty jsou 154,6 MPa.

### 2.8.6 Zhodnocení výsledků

Všechny kontrolované prvky jsou vyrobeny z oceli, která je izotropní. Proto mohou všechny napětí dát do absolutních hodnot a porovnávat bez ohledu jestli to je tah nebo tlak. Byly vybrány dva zátěžné stavy pro statickou analýzu střešní konstrukce. V prvním případě zatížení větrem působí na střešní konstrukci v podélném směru. Kritickým místem se v tu chvíli stává spojení nosníku s atikou uprostřed střešní konstrukce. Tento spoj je proveden z oceli S235, která má minimální mez kluzu 235 MPa. A největší napětí v tomhle místě dosáhlo 183,3 MPa.

$$\sigma_d \geq \sigma_{max} \rightarrow 235 \geq 183,3 \quad \text{vyhovuje} \quad (25)$$

V druhém případě zatížení větrem působí na střešní konstrukci v příčném směru. Nebezpečným místem se v tu chvíli stává druhé nosníky z krajů konstrukce. Jsou taky vyrobeny z oceli S235, která má minimální mez kluzu 235 MPa. A největší napětí v tomhle místě dosáhlo 154,6 MPa.

$$\sigma_d \geq \sigma_{max} \rightarrow 235 \geq 154,6 \quad \text{vyhovuje} \quad (26)$$

Tyto výsledky platí pouze, když je splněno pár podmínek:

- Stavba je umístěná ve III sněhové i větrné oblasti (I a II oblast nevadí)
- Stavba nebude umístěna mezi husté a vysoké překážky, které by výrazně bránily v odfouknutí sněhu ze střešní konstrukce nebo usměrňovaly proud větru.

Pokud tyto podmínky nebudou splněny tak neručím za nosnost střechy a nenesu žádnou zodpovědnost za případné zřícení stavby.

## 3. Optimalizace střechy

Pro rychlejší optimalizaci jsem optimalizoval jen v jednom zátěžném stavu a to směr větru v podélném směru, protože jsou tam větší napětí a až pak jsem zkontroloval i příčný směr. Optimalizaci jsem prováděl pouze změnou průřezu. Z tohoto důvodu vám nebudu prezentovat všechny typy, které jsem zkusil. Uvedu tu pouze výsledné změny na modelu.

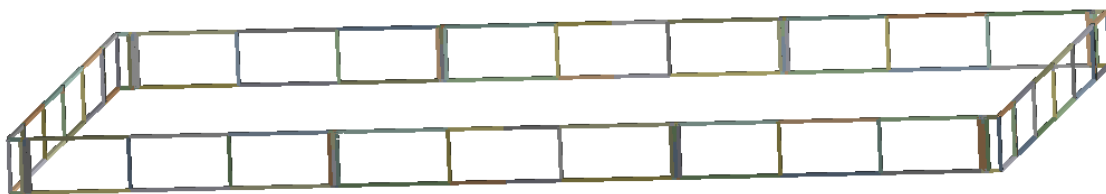
### 3.1 Změny v modelu

Nejprve jsem se zaměřil na nejmasivnější část konstrukce o stejném průřezu. Neboli jsem se zaměřil na nosný rám střešní konstrukce. Nosný rám je tvořen z tyčí čtvercového průřezu o velikosti 150x150x8, které jsem nahradil tyčemi čtvercového průřezu o velikosti 120x120x5.



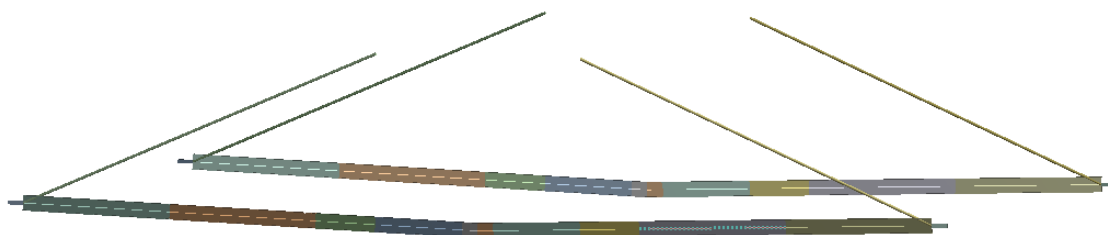
*Obr. 3.1 Nosný rám střešní konstrukce*

Poté moje pozornost přešla k nosníkům, které tvoří atiku, jejich rozměr je 40x40x3. Tady jsem pouze zmenšil tloušťku stěny o jeden milimetr, takže jsem volil 40x40x2.

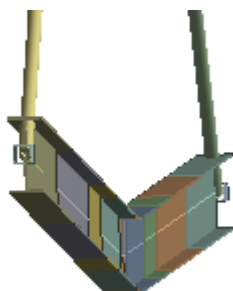


*Obr. 3.2 Atika*

Posléze jsem měnil i nosník s I profilem 160 na I profil 140. A taky kruhovou tyč o průměru 30 mm jsem zmenšil na 17 mm.

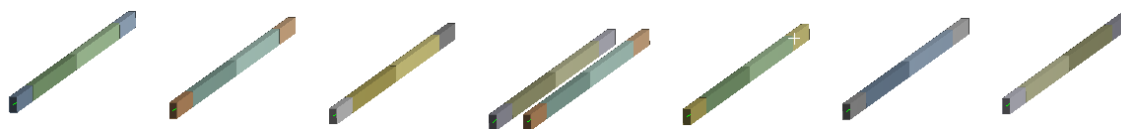


*Obr. 3.3 I nosníky a tyče*

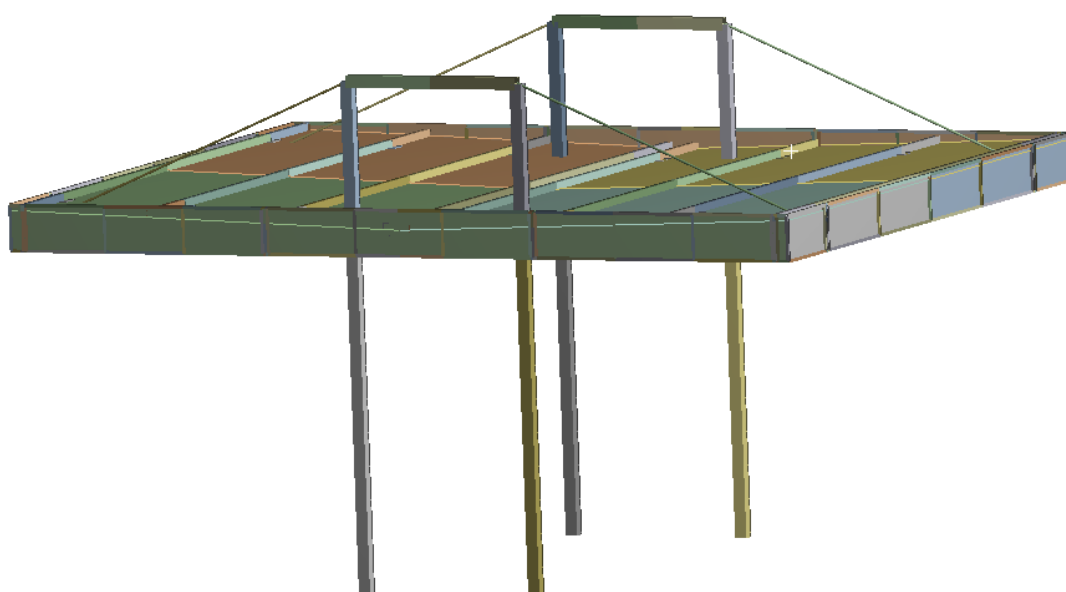


*Obr. 3.4 I nosník*

A jako poslední jsem ještě změnil profil nosníků, které měli 160x80x4 a stejně jako jsem to udělal u atik tak i tady jsem jen změnil tloušťku stěny o jeden milimetr, takže jsem volil 160x80x3.



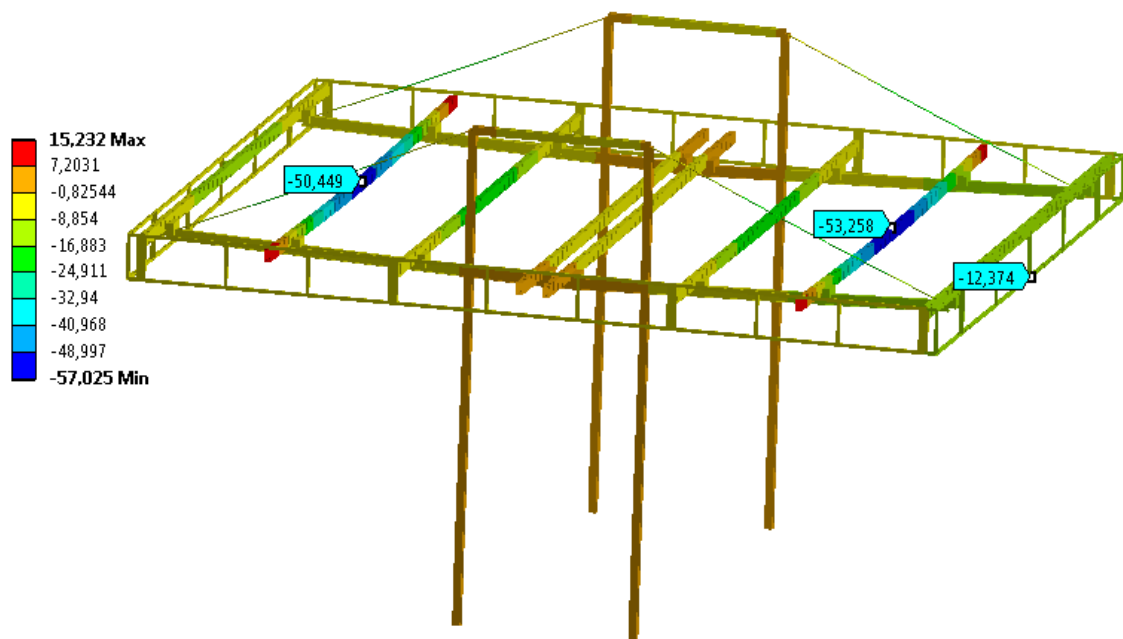
*Obr. 3.5 Nosníky*



*Obr. 3.6 Optimalizovaný model*

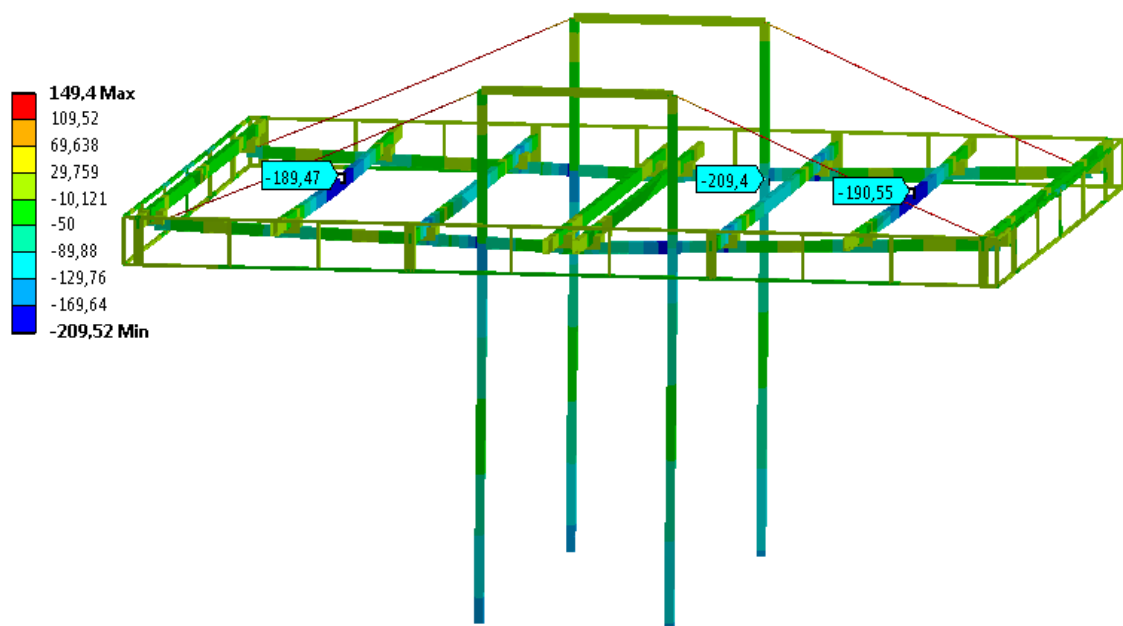
### 3.2 Výsledky

Výsledky pro podélný směr větru.

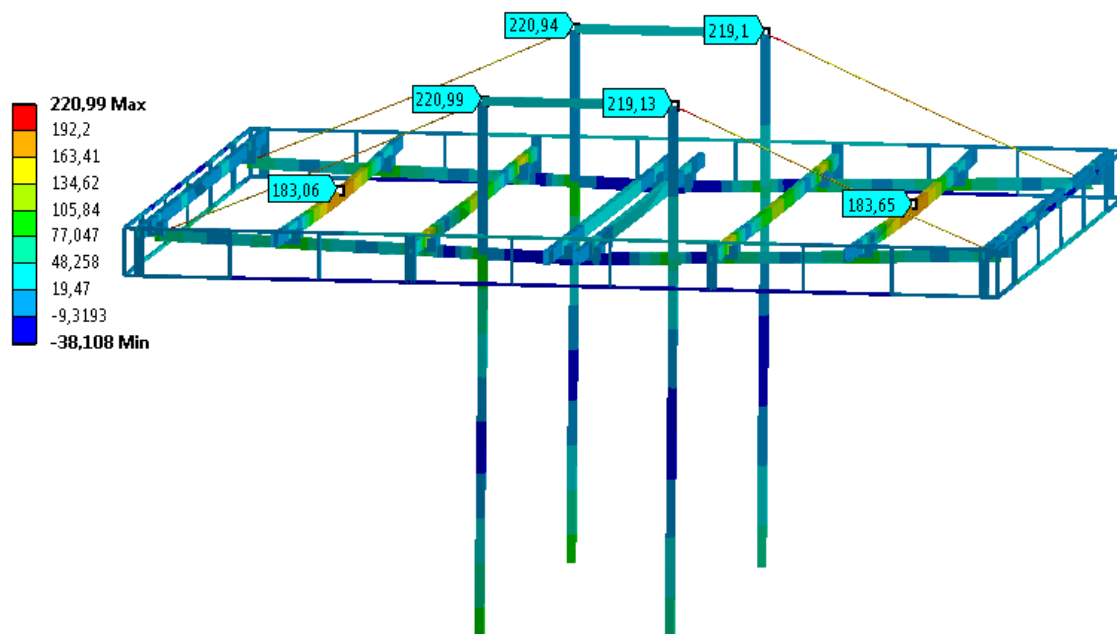


Obr. 3.7 Deformace směrem dolů [mm]

Na předchozím obrázku jsem udělal deformaci jen směrem dolů nebo nahoru. Udělal jsem to, abych se ujistil, že deformace na střeše neovlivní možnou výšku nákladního auta. Původní výška atiky je 4 315 mm, když od tohoto odečteme naši deformaci, která je 12,374 mm zaokrouhleně 13 mm. Tak dostáváme 4 302 mm od země. Taková výška bohatě stačí, aby se nákladní auto dostalo pod střešní konstrukci.

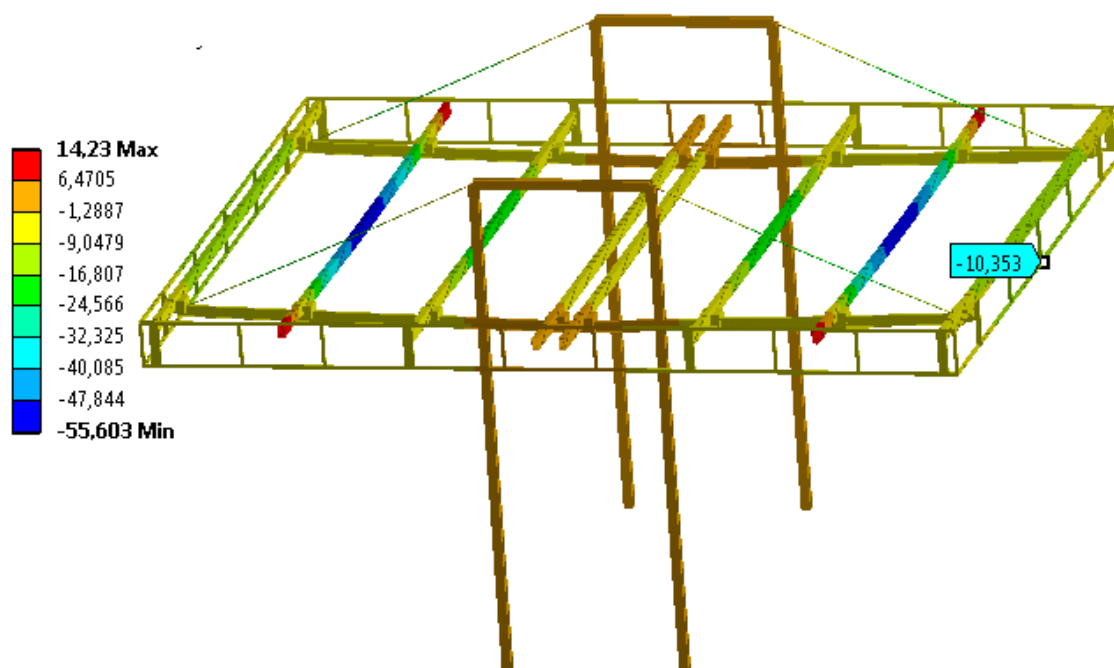


Obr. 3.8 Kombinované napětí – minimální [MPa]



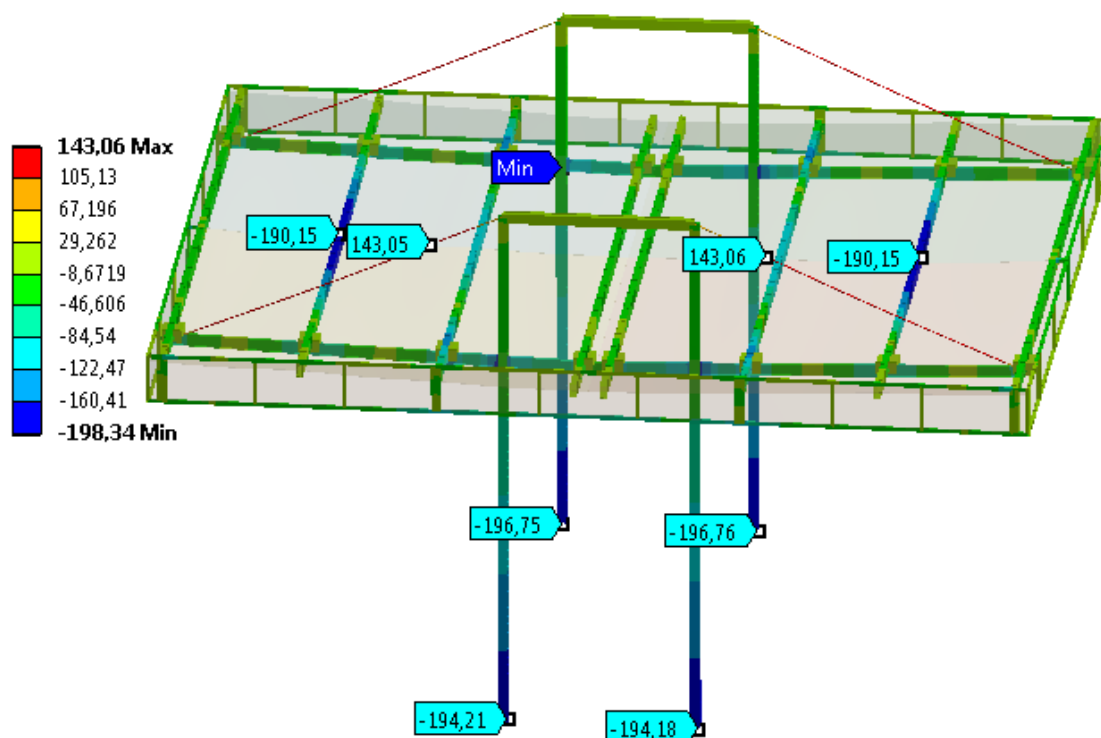
Obr. 3.9 Kombinované napětí – maximální [MPa]

Výsledky pro příčný směr.



Obr. 3.10 Deformace směrem dolů [mm]

Tato deformace, která by ovlivnila průjezd nákladních aut je ještě menší než v podélném směru proto s ní nemusím vůbec počítat.



Obr. 3.11 Kombinované napětí – maximální [MPa]

### 3.3 Zhodnocení výsledků

Můj optimalizovaný model má více kritických míst, ale zato jsem odlehčil střešní konstrukci o přebytečný materiál. Původní model váží 5352,7 kg a optimalizovaný model váží 4517,3 kg. Podle těchto čísel jsem ušetřil přes 15% neboli 835,4 kg materiálu.

Největší napětí na mém optimalizovaném modelu je na tyčích, které jsou spojené s nosním rámem a v blízkosti atiky. Tohle napětí činí 220,99 MPa, která je stále menší než minimální mez kluzu, která je 235 MPa.

$$\sigma_d \geq \sigma_{max} \rightarrow 235 \geq 220,99 \quad \text{vyhovuje} \quad (27)$$

Zbylé kritická místa jsou obdobně kritická jako nejkritičtější místo předchozího modelu. Další kritická místa jsou dolní konce nosného rámu, druhé nosníky z krajů střešní konstrukce, které nejsou připevněné k atice a I nosník, kde se napojuje na nosný rám střešní konstrukce.

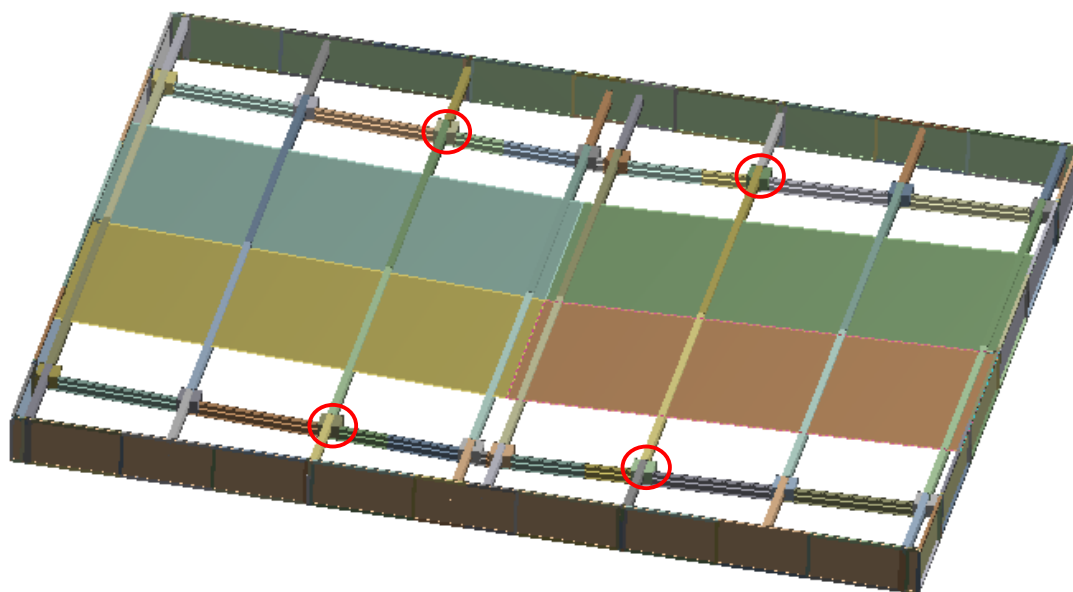


## 4. Statická kontrola při montování

Byl jsem firmou Petrocard požádán, jestli bych nemohl udělat i výpočet, který ověří, jestli můžou střechu smontovat na zemi a poté vyzvednout jeřábem na místo. Tenhle výpočet provedu pouze pro statickou kontrolu a jen pro původní model, ne pro optimalizovaný.

### 4.1 Změny modelu

Jako první jsem kompletně odstranil nosní rám střešní konstrukce a tím pádem i tyč, která na něj byla připevněna. Aby šlo nějak upevnit lana na model tak nesmí být deska přes celou plochu. Když se podíváme na obr. 2.1 tak si můžeme všimnout, že trapézový plech není v celku, ale je rozdělen na několik částí. Stejně jako na Obr. 2.2 tak i tady rozdělím desku. Díky tomu vznikne místo, kde můžu uchytit lano od jeřábu. Takže aktuální model bude vypadat následovně.

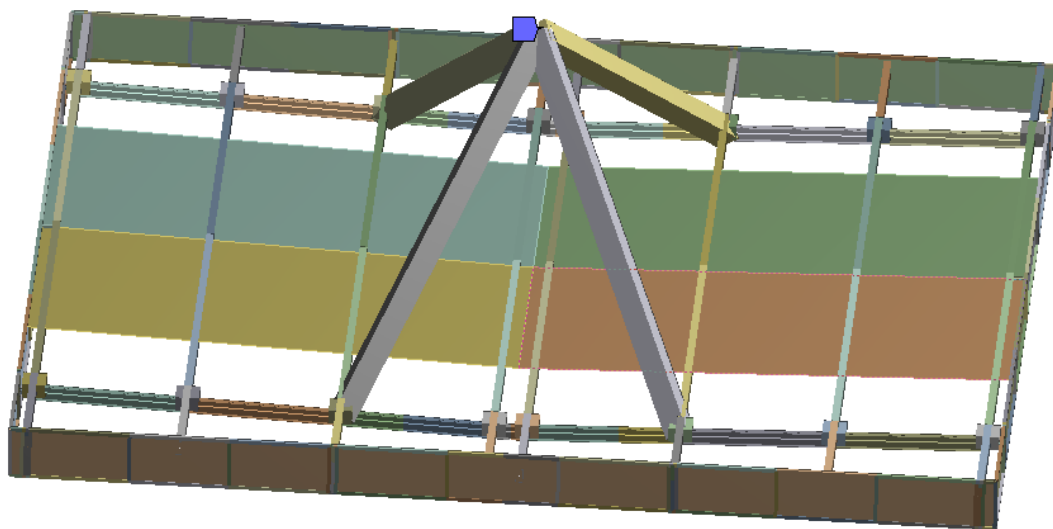


*Obr. 4.1 Model pro přenášení jeřábem*

### 4.2 Počáteční podmínky

Jak je na předchozím obrázku patrné tak se nám nabízí několik dobrých míst k upevnění lan od jeřábu. Já jsem si vybral ty v červeném kroužku. Dále jsem si vytvořil uprostřed těchto kroužku bod, který je, ale o 2970 mm výše než červené kroužky. Ten bod jsem pak spojil čarami, kterým jsem následně přiřadil plný tuhý průřez, aby se co

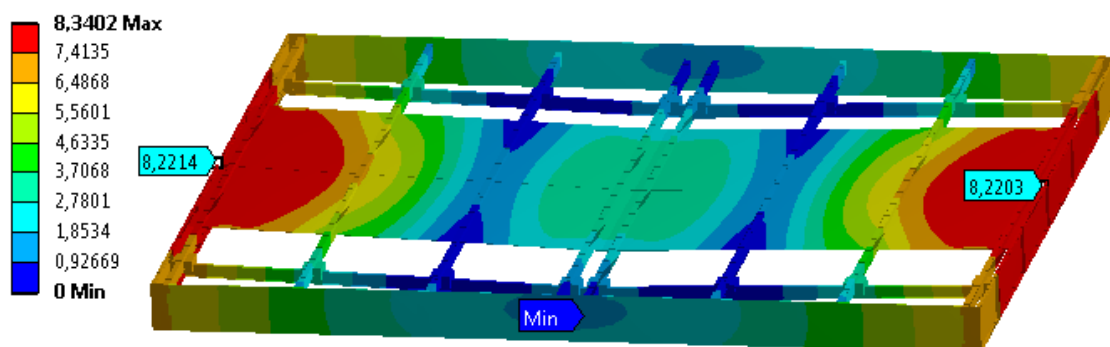
nejméně deformovaly. Tyto tuhé nosníky slouží pro přenos síly způsobené ukotvením a nahrazují ocelové lana, která tam budou ve skutečnosti. Z tohoto vyplývá, že délka každého lana je přibližně 4650 mm. Ukotvení volím takové, že v místě styku tuhých nosníků zabráním všem posuvům. A tímto mám zajištěno, že síla způsobená jeřábem bude střešní konstrukci zatěžovat pod patřičným úhlem (viz. Obr. 4.2).



Obr. 4.2 Tuhé nosníky a ukotvení

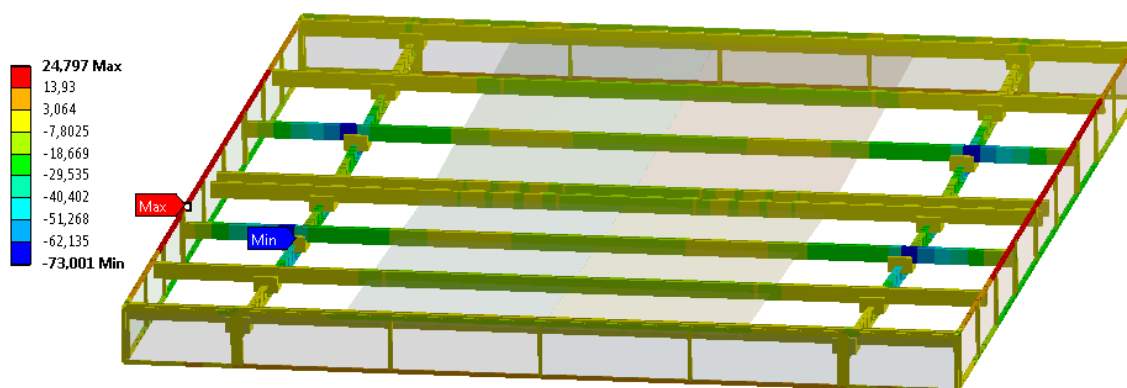
Zátěžný stav na stropní konstrukci je jen jeden. V tomto zátěžném stavu působí pouze vlastní tíha.

## 4.2 Výsledky

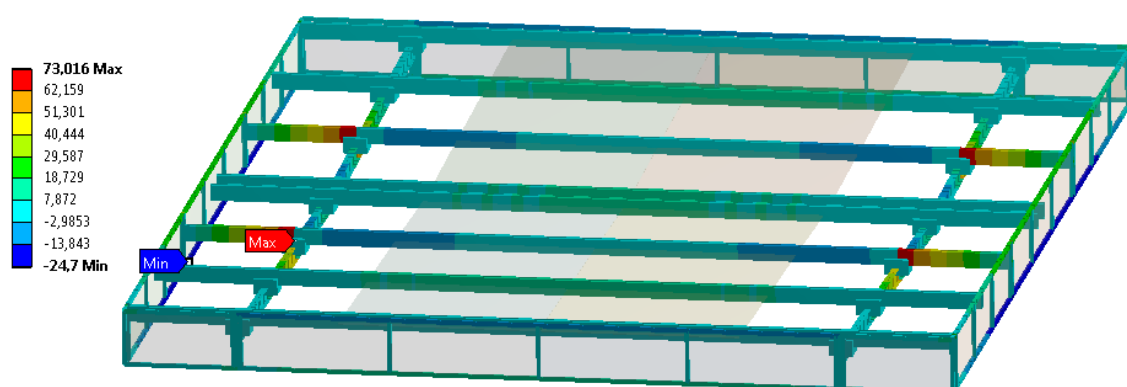


Obr. 4.3 Deformace způsobená jeřábem [MPa]

V místě uchycení tuhých nosníků můžeme vidět, že je deformace opravdu velmi malá. Čím dále se od uchycení dostáváme tím je deformace větší, takže největší deformace je uprostřed příčných atik a její hodnota je 8,22 MPa.



*Obr. 4.4 Kombinované napětí – minimální [MPa]*



*Obr. 4.5 Kombinované napětí – maximální [MPa]*

Jak pro minimální tak i pro maximální kombinace je největší v místě ukotvení. Největší napětí je 73,016 MPa a minimální mez kluzu je 235 MPa. Z tohoto vyplývá, že bezpečnost  $S_k$  je 3,2. Takže je možné tenhle způsob používat. Ale je taky nutno si uvědomit, že všechny čtyři lana musí unést 3837,2 kg. Takže na každé lano působí síla o velikosti 9410,7 N. Musíme tedy zvolit takové lana, které tak velké zatížení vydrží.

## 5. Závěr

V první části práce jsem model od firmy, který jsem dostal. Udělal jsem takovou úpravu, že jsem odstranil šroubové spoje a nahradil jsem je svarovými spoji. Protože předmětem mojí statické kontroly není kontrola desek, tak jsem trapézový plech zjednodušil na obyčejný plech, kterému jsem však přiřadil takovou tloušťku, aby jeho hmotnost byla stejná jako u trapézového plechu. Tato deska mi taky bude sloužit jako přesnější přenesení účinku sněhu do nosníkové konstrukce. Proto jsem si taky vytvořil lehké hliníkové desky, které mi přenášení zatížení způsobené větrem do nosníkové konstrukce. V této části jsem taky udělal počáteční podmínky. A taky jsem komentoval normu sněhem i větrem. Po zhodnocení výsledku, kde největší napětí na konstrukci je 183,3 MPa a minimální mez kluzu je 235 MPa jsem zjistil, že střecha vyhoví. Při bližším zhodnocení jsem zjistil, že konstrukce je v některých místech zbytečně předimenzovaná.

V druhé části jsem optimalizoval model. A rozhodl jsem se, že změním průřez u všech nosníků.

Staré průřezy	Nové průřezy
- 150x150x8 mm	- 120x120x5 mm
- I 160 mm	- I 140 mm
- 160x80x4 mm	- 160x80x3 mm
- 40x40x3 mm	- 40x40x2 mm
- $\phi$ 30 mm	- $\phi$ 17mm

Výsledné maximální napětí s novými průřezy je 220,99MPa a minimální mez kluzu je 235 MPa. Takže model stále vyhovuje, ale předtím vážila 5352,7 kg a teď váží 4517,3 kg. Takže jsem ušetřil cca 15% oceli, kterou při výrobě nepotřebuju.

Ve třetí části počítám statickou bezpečnost pro část střešní konstrukce, která je zavěšena na jeřábu a má původní průřezy. Výsledná bezpečnost mi vyšla 3,2. Takže je možné tenhle způsob používat.

Je ale nutné si uvědomit že tyhle výsledky platí jen, dokud se pohybujeme s touhle střešní konstrukcí v daných sněhových a větrných oblastech. Jinak řečeno nezaručuju, že tahle konstrukce dokáže odolat třeba IV sněhové oblasti.

## SEZNAM ROVNIC

1) Výpočet tloušťky desky .....	10
2) Výpočet sněhového zatížení .....	19
3) Kompletní výpočet sněhového zatížení .....	21
4) Výpočet základní rychlosti větru .....	23
5) Výpočet střední rychlosti větru .....	24
6) Výpočet součinitelů drsnosti terénu .....	24
7) Výpočet součinitelů terénu .....	24
8) Výpočet turbulence větru .....	25
9) Výpočet maximálního dynamického tlaku .....	25
10) Výpočet součinitele vnějšího tlaku – podélný směr .....	25
11) Určení poměru oblastí – podélný směr .....	26
12) Výpočet vnějšího tlaku větru – podélný směr .....	26
13) Výpočet vnějšího tlaku na konstrukci – podélný směr .....	26
14) Výpočet vnějšího tahu na konstrukci – podélný směr .....	26
15) Výpočet součinitele vnějšího tlaku – příčný směr .....	27
16) Určení poměru oblastí – příčný směr .....	27
17) Výpočet vnějšího tlaku větru – příčný směr .....	27
18) Výpočet vnějšího tlaku na konstrukci – příčný směr .....	27
19) Výpočet vnějšího tahu na konstrukci – příčný směr .....	27
20) Výpočet celkového zatížení sněhu .....	30
21) Celkový výpočet zatížení větrem – podélný směr, tažená deska .....	31
22) Celkový výpočet zatížení větrem – podélný směr, tlačená deska .....	31
23) Celkový výpočet zatížení větrem – příčný směr, tažená deska .....	32
24) Celkový výpočet zatížení větrem – příčný směr, tlačená deska .....	32
25) Statická kontrola pro podélný směr .....	43
26) Statická kontrola pro příčný směr .....	43
27) Statická kontrola pro podélný směr – optimalizace .....	48

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Norma ČSN EN 1991-1-3 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem
- [2] Norma ČSN EN 1991-1-4 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem
- [3] Norma ČSN EN 1991-1-1 – Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha, a užitná zatížení pozemních staveb
- [4] ANSYS® Academic Teaching Advanced, Release 14.5, help systém, ANSYS, Inc.
- [5] KOLÁŘ, Vladimír, Viktor KANICKÝ a Ivan NĚMEC. *FEM Principy a práce metody konečných prvků*. Vyd. 1. Praha: Computer Press, 1997, 401 s. ISBN 80-72-6021-9.

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Geometrický model od firmy .....	9
Obr. 2.2: Obrázek šroubových spojů .....	9
Obr. 2.3: I nosník na rámu .....	10
Obr. 2.4: nosný rám konstrukce .....	11
Obr. 2.5: Detail na tuhé nosníky .....	11
Obr. 2.6: Příčná atika .....	12
Obr. 2.7: Podélná atika .....	12
Obr. 2.8: Atika .....	12
Obr. 2.9: nosníky z hora .....	13
Obr. 2.10: Deska na sněh .....	14
Obr. 2.11: Model po jednom zrcadlení .....	14
Obr. 2.12: Model bez desek na vítr .....	15
Obr. 2.13: Geometrický model .....	15
Obr. 2.14: Ocelová konstrukce .....	16
Obr. 2.15: Hliníková konstrukce .....	17
Obr. 2.16: Automatická síť .....	17
Obr. 2.17: Detail chyby sítě .....	17

Obr. 2.18: síť na nosnících .....	18
Obr. 2.19: síť na deskách .....	18
Obr. 2.20: Mapa sněhových oblastí (zdroj: ČSN EN 1991-1-3) .....	19
Obr. 2.21: Tvarové součinitele zatížení (zdroj: ČSN EN 1991-1-3) .....	21
Obr. 2.22: Tvarový součinitel zatížení – pultová střecha .....	21
Obr. 2.23: Norma sněhem vytvořená v excelu .....	22
Obr. 2.24: Mapa větrných oblastí na území ČR .....	23
Obr. 2.25: Zatížení stavby větrem .....	25
Obr. 2.26: Kontakt desky (sněhové) s nosníky .....	28
Obr. 2.27: Kontakt desky (větrných) s atikou .....	28
Obr. 2.28: Uchycení modelu .....	29
Obr. 2.29: Gravitační tíha .....	30
Obr. 2.30: Zatížení sněhem .....	30
Obr. 2.31: Zatížení větrem – podélný směr a tlačená deska .....	31
Obr. 2.32: Zatížení větrem – podélný směr a tažená deska .....	31
Obr. 2.33: Zatížení větrem – příčný směr a tlačená deska .....	32
Obr. 2.34: Zatížení větrem – příčný směr a tažená deska .....	32
Obr. 2.35: Deformace způsobená vlastní tíhou .....	33
Obr. 2.36: Osové napětí způsobené vlastní tíhou .....	33
Obr. 2.37: Deformace od tíhy sněhu .....	34
Obr. 2.38: Osové napětí způsobené tíhou sněhu .....	34
Obr. 2.39: Deformace způsobené podélným větrem .....	35
Obr. 2.40: Osové napětí způsobené podélným větrem .....	35
Obr. 2.41: Deformace způsobené příčným větrem .....	36
Obr. 2.42: Osové napětí způsobené příčným větrem .....	36
Obr. 2.43: Detail osového napětí způsobené příčným větrem .....	36
Obr. 2.44: Deformace celé střechy pro podélný směr větru .....	37
Obr. 2.45: Deformace nosníkové části střechy pro podélný směr větru .....	37
Obr. 2.46: Deformace celé střechy pro příčný směr větru .....	38
Obr. 2.47: Deformace nosníkové části střechy pro příčný směr větru .....	38
Obr. 2.48: Osové napětí pro podélný směr větru .....	39
Obr. 2.49: Osové napětí pro příčný směr větru .....	39

Obr. 2.50: Kombinované napětí pro podélný směr větru (maximální) .....	40
Obr. 2.51: Detail na největší kombinované napětí pro podélný směr větru .....	40
Obr. 2.52: Kombinované napětí pro příčný směr větru (maximální) .....	41
Obr. 2.53: Kombinované napětí pro podélný směr větru (minimální) .....	42
Obr. 2.54: Kombinované napětí pro příčný směr větru (minimální) .....	43
Obr. 3.1: Nosný rám střešní konstrukce .....	44
Obr. 3.2: Atika .....	44
Obr. 3.3: I nosníky a tyče .....	45
Obr. 3.4: I nosník .....	45
Obr. 3.5: Nosníky .....	45
Obr. 3.6: Optimalizovaný model .....	45
Obr. 3.7: Deformace směrem dolů .....	46
Obr. 3.8: Kombinované napětí – minimální .....	46
Obr. 3.9: Kombinované napětí – maximální .....	47
Obr. 3.10: Deformace směrem dolů .....	47
Obr. 3.11: Kombinované napětí – maximální .....	48
Obr. 4.1: Model pro přenášení jeřábem .....	49
Obr. 4.2: Tuhé nosníky a ukotvení .....	50
Obr. 4.3: Deformace způsobená jeřábem .....	50
Obr. 4.4: Kombinované napětí – minimální .....	51
Obr. 4.5: Kombinované napětí – maximální .....	51



## SEZNAM TABULEK

TAB. 1: Sněhové oblasti .....	20
TAB. 2: Doporučené hodnoty součinitele $C_e$ .....	20
TAB. 3: Tvarový součinitel zatížení sněhu .....	21
TAB. 4: Větrné oblasti .....	24
TAB. 5: Kategorie terénu a jejích parametry .....	24
TAB. 6: Doporučené hodnoty součinitelů vnějších taku .....	26

## SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE

- Microsoft Office Word 2016
- Microsoft Office Excel 2016
- ANSYS Workbench 16.0

## SEZNAM PŘÍLOH

### 1. CD-ROM

- Elektronická verze bakalářské práce